



SERVICIO GEOLÓGICO NACIONAL
REPÚBLICA DOMINICANA

**MAPA GEOMORFOLÓGICO Y DE PROCESOS ACTIVOS
SUSCEPTIBLES DE CONSTITUIR RIESGO GEOLÓGICO
DE LA REPÚBLICA DOMINICANA**

ESCALA 1:100.000

NAGUA

(6274)

Santo Domingo, R.D., Enero 2007-Diciembre 2010

La presente Hoja y Memoria forma parte del Programa de Cartografía Geotemática de la República Dominicana, Proyecto 1B, financiado en consideración de donación por la Unión Europea a través del programa SYSMIN II de soporte al sector geológico-minero (Programa CRIS 190-604, ex No 9 ACP DO 006/01). Ha sido realizada en el periodo 2007-2010 por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), formando parte del Consorcio IGME-BRGM-INYPSA, con normas, dirección y supervisión del Servicio Geológico Nacional (SGN), habiendo participado los siguientes técnicos y especialistas:

CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA

- Ing. Alberto Díaz de Neira (IGME)

CARTOGRAFÍA DE PROCESOS ACTIVOS SUSCEPTIBLES DE CONSTITUIR RIESGO GEOLÓGICO

- Ing. Alberto Díaz de Neira (IGME)

REDACCIÓN DE LA MEMORIA

- Ing. Alberto Díaz de Neira (IGME)

ELABORACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y ASESORÍA DURANTE LA ELABORACIÓN DE LOS TRABAJOS

- Dr. Ángel Martín-Serrano (IGME)

SEDIMENTOLOGÍA Y LEVANTAMIENTOS DE COLUMNAS

- Dr. Juan Carlos Braga (Universidad de Granada, España)

TELEDETECCIÓN

- Ing. Juan Carlos Gumiel (IGME)

DIRECTOR DEL PROYECTO

- Ing. Eusebio Lopera (IGME)

SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DE LA UNIÓN EUROPEA

- Ing. Enrique Burkhalter. Director de la Unidad Técnica de Gestión (TYPESA) del Programa SYSMIN

EXPERTO A CORTO PLAZO PARA LA ASESORÍA EN LA SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DE LA UNIÓN EUROPEA

- Dr. Andrés Pérez-Estaún (Instituto de Ciencias de la Tierra Jaime Almera del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Barcelona, España)

SUPERVISIÓN TÉCNICA POR PARTE DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE MINERÍA

- Ing. Santiago Muñoz
- Ing. María Calzadilla

- Ing. Jesús Rodríguez

Se quiere agradecer muy expresamente al Dr. Andrés Pérez-Estaún la estrecha colaboración mantenida con los autores del presente trabajo; sus ideas y sugerencias sin duda han contribuido notablemente a mejorar la calidad del mismo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Metodología	6
1.2. Situación geográfica	9
1.3. Marco geológico.....	12
1.4. Antecedentes	14
2. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA.....	17
3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO	21
3.1. Estudio morfoestructural	21
3.1.1. Formas estructurales	21
3.2. Estudio del modelado	23
3.2.1. Formas gravitacionales	24
3.2.2. Formas fluviales y de escorrentía superficial	24
3.2.3. Formas lacustres y endorreicas	28
3.2.4. Formas marinas-litorales.....	29
3.2.5. Formas originadas por meteorización química	35
3.2.6. Formas poligénicas.....	36
4. FORMACIONES SUPERFICIALES.....	38
4.1. Formaciones gravitacionales	38
4.1.1. Bloques y lutitas. Deslizamiento (a). Holoceno.....	38
4.1.2. Cantos, bloques y lutitas. Coluvión (b). Holoceno	38
4.2. Formaciones fluviales	39
4.2.1. Arcillas abigarradas, de predominio rojizo, con cantos. Abanicos aluviales (c). Pleistoceno Superior.....	39
4.2.2. Gravas, arenas y lutitas. Llanura de inundación (d). Holoceno	40
4.2.3. Lutitas, gravas y arenas. Cauce o meandro abandonado (e). Holoceno..	41
4.2.4. Cantos y lutitas. Conos de deyección (f). Holoceno	41
4.2.5. Gravas, arenas y lutitas. Fondo de valle (g). Holoceno	41
4.3. Formaciones lacustres-endorreicas	42
4.3.1. Lutitas. Área pantanosa (h). Holoceno.....	42
4.3.2. Lutitas. Laguna (i). Holoceno	42
4.4. Formaciones marinas-litorales.....	42
4.4.1. Construcciones biogénicas. Calizas arrecifales (j, k, l, m, n, ñ, o). Pleistoceno	42

4.4.2.	Arenas blancas. Depósitos litorales (p). Pleistoceno Superior	47
4.4.3.	Arenas. Dunas de cordón litoral (q). Pleistoceno Superior-Holoceno ...	48
4.4.4.	Arenas. Cordón litoral (r). Holoceno.....	48
4.4.5.	Lutitas y arenas con vegetación abundante. Marisma baja (s). Holoceno	48
4.5.	Formaciones originadas por meteorización química.....	48
4.5.1.	Arcillas de descalcificación. Fondos de dolina o uvala (t). Pleistoceno-Holoceno	48
5.	EVOLUCIÓN E HISTORIA GEOMORFOLÓGICA	50
6.	PROCESOS ACTIVOS SUSCEPTIBLES DE CONSTITUIR RIESGO GEOLÓGICO.....	52
6.1.	Actividad sísmica	52
6.1.1.	Tsunamis.....	54
6.2.	Tectónica activa	56
6.3.	Actividad asociada a movimientos de laderas	57
6.4.	Actividad asociada a procesos de erosión.....	57
6.5.	Actividad asociada a procesos de inundación y sedimentación	58
6.6.	Actividad asociada a litologías especiales.....	59
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	60

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Metodología

Debido al carácter incompleto y no sistemático del mapeo de la República Dominicana, la Secretaría de Estado de Industria y Comercio, a través de la Dirección General de Minería (DGM), se decidió a abordar a partir de finales del siglo pasado, el levantamiento geológico y minero del país mediante el Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana, incluido en el Programa SYSMIN y financiado por la Unión Europea, en concepto de donación. En este contexto, el consorcio integrado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), el Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) e Informes y Proyectos S.A. (INYPSA), ha sido el responsable de la ejecución del denominado Proyecto 1B, bajo el control de la Unidad Técnica de Gestión (UTG, cuya asistencia técnica corresponde a TYPESA) y la supervisión de la Dirección General de Minería (DGM).

Este Proyecto comprende varias zonas que junto con las ya abordadas con motivo de los proyectos previos (C, ejecutado en el periodo 1997-2000; K y L, ejecutados en el periodo 2002-2004), completan la mayor parte del territorio dominicano. El Proyecto 1B incluye, entre otros trabajos, la elaboración de 24 Hojas Geomorfológicas y otras tantas de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico, a escala 1:100.000, correspondientes a los siguientes cuadrantes a dicha escala (Fig. 1.1):

Zona Norte:

- La Vega (6073)
- San Francisco de Macorís (6173)
- Sánchez (6273)
- Samaná (6373)
- Santiago (6074)
- Salcedo (6174)
- Nagua (6274)
- La Isabela (5975)
- Puerto Plata (6075)
- Sabaneta de Yásica (6175)

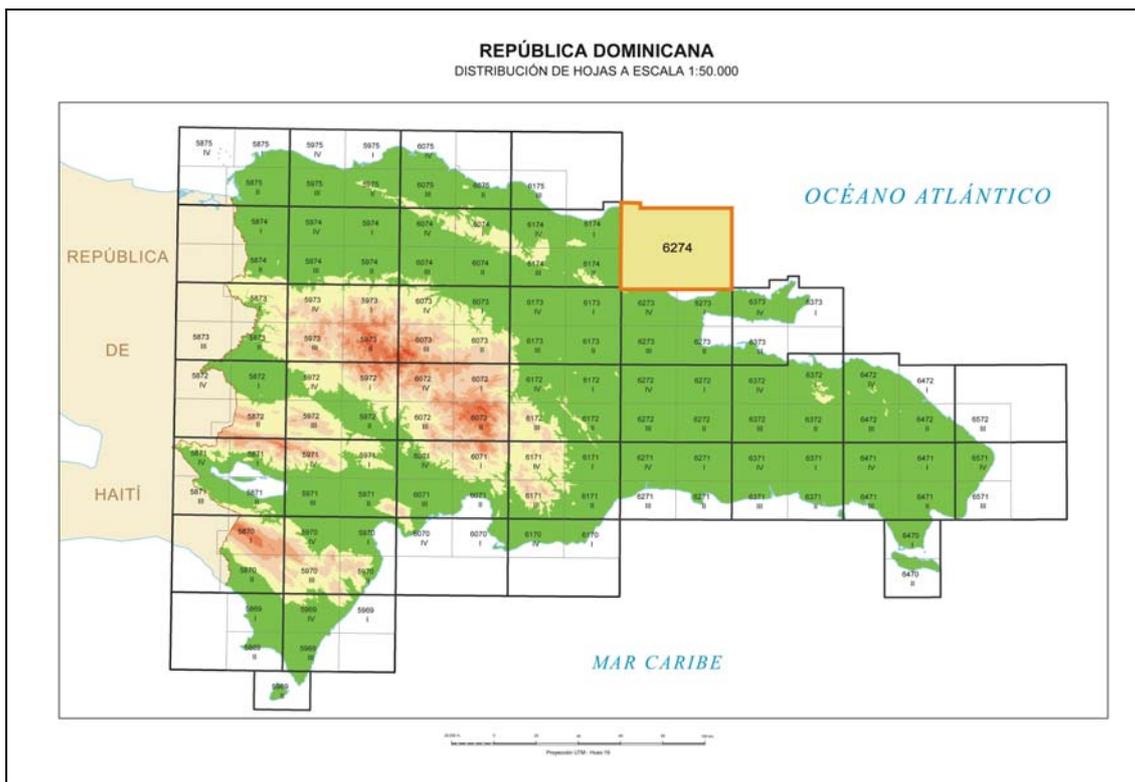


Fig.1.1. Distribución de Hojas a escala 1:100.000 de la República Dominicana y situación de la Hoja a escala 1:100.000 de Nagua (6274)

Zona Sureste:

- La Granchorra (6470)
- Santo Domingo (6271)
- San Pedro de Macorís (6371)
- La Romana (6471)
- Juanillo (6571)
- Las Lisas (6472)
- Bávaro (6572)

Zona Sur:

- Sabana Buey (6070)
- Baní (6170)

Zona Suroeste:

- Isla Beata (5868)
- Cabo Rojo (5869)
- Enriquillo (5969)

- Pedernales (5870)
- Barahona (5970)

Ya que cada Hoja forma parte de un contexto geológico más amplio, la ejecución de cada una de ellas se ha enriquecido mediante la información aportada por las de su entorno; por ello, a lo largo de la presente Memoria son frecuentes las referencias a la vecina Hoja a escala 1:100.000 de Salcedo (6174).

Durante la realización de la Hoja Geomorfológica a escala 1:100.000 de Nagua se ha utilizado la cartografía geológica a escala 1:50.000 elaborada durante el presente proyecto, además de la información disponible de diversa procedencia y las fotografías aéreas a escala 1:40.000 del Proyecto MARENA, tomadas en los años 1983-84, y las imágenes de satélite Spot P, Landsat TM y SAR. La cartografía previa ha sido complementada con numerosos recorridos de campo, siendo uno de los principales objetivos de los mismos la toma de datos que pudieran ser de utilidad para la realización de la Hoja a escala 1:100.000 de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico, derivada en buena medida de la cartografía geomorfológica.

Los trabajos se efectuaron de acuerdo con la normativa del Programa Nacional de Cartas Geológicas a escala 1:50.000 y Temáticas a escala 1:100.000 de la República Dominicana, elaborada por el Instituto Tecnológico y Geominero de España y la Dirección General de Minería de la República Dominicana. Esta normativa, inspirada en el Modelo del Mapa Geológico Nacional de España a escala 1:50.000, 2ª serie (MAGNA), fue adaptada durante el desarrollo de los Proyectos K y L a la Guía para la elaboración del Mapa Geomorfológico de España a escala 1:50.000 (IGME, 2004) que incluye la correspondiente al Mapa de Procesos Activos, si bien en el presente trabajo se han adoptado ligeras modificaciones en función de la diferente escala de trabajo y de la cantidad de información existente.

La presente Memoria tiene carácter explicativo de los Mapas Geomorfológico y de Procesos Activos susceptibles de constituir Riesgo Geológico del cuadrante de Nagua (6274). Tras la presente introducción, en la que se abordan la metodología seguida, la ubicación de la Hoja en los contextos regionales geográfico y geológico, y los antecedentes más relevantes, se detallan los siguientes aspectos:

- Descripción fisiográfica, en la que se señalan los rasgos físicos más destacables, como los accidentes geográficos (sierras, ríos, llanuras...), los parámetros climáticos generales y los principales rasgos socioeconómicos.
- Análisis morfológico, en el que se trata el relieve desde un punto de vista puramente estático, entendiendo como tal la relación y explicación de las distintas formas de aquél, agrupadas en función del agente responsable de su origen (estructural, gravitacional, fluvial...), incidiendo en su geometría, tamaño y génesis.
- Estudio de las formaciones superficiales, es decir, de las formas acompañadas de depósito, haciendo hincapié en su litología, espesor y cronología, agrupadas igualmente en función de su agente responsable.
- Evolución e historia geomorfológica, contemplando el desarrollo del relieve en función del tiempo, tratando de explicar su génesis y evolución.
- Procesos activos susceptibles de constituir riesgo geológico, resultado de la potencial funcionalidad de diversos fenómenos geodinámicos, la mayoría testimoniados por diversas formas de la superficie terrestre.

Por otra parte, la memoria de las Hojas Geológicas a escala 1:50.000 del presente cuadrante (Nagua, 6274-III; Cabrera, 6274-IV), incluyen la mayor parte de la información contenida en el presente texto, distribuida entre sus capítulos correspondientes a: Introducción (Descripción fisiográfica), Estratigrafía (Formaciones superficiales) y Geomorfolología (Análisis morfológico, Evolución e historia geomorfológica y Procesos activos susceptibles de constituir riesgo geológico).

1.2. Situación geográfica

La Hoja a escala 1:100.000 de Nagua (6274) se encuentra situada en el sector septentrional de la República Dominicana, ocupando el océano Atlántico la mitad oriental de su cuadrícula. Pertenece a la provincia de María Trinidad Sánchez, incluyendo la totalidad del municipio de Cabrera y parte de los de Río San Juan, Nagua y El Factor. Forma parte de tres de los principales dominios morfoestructurales de La Española (Fig.1.2):

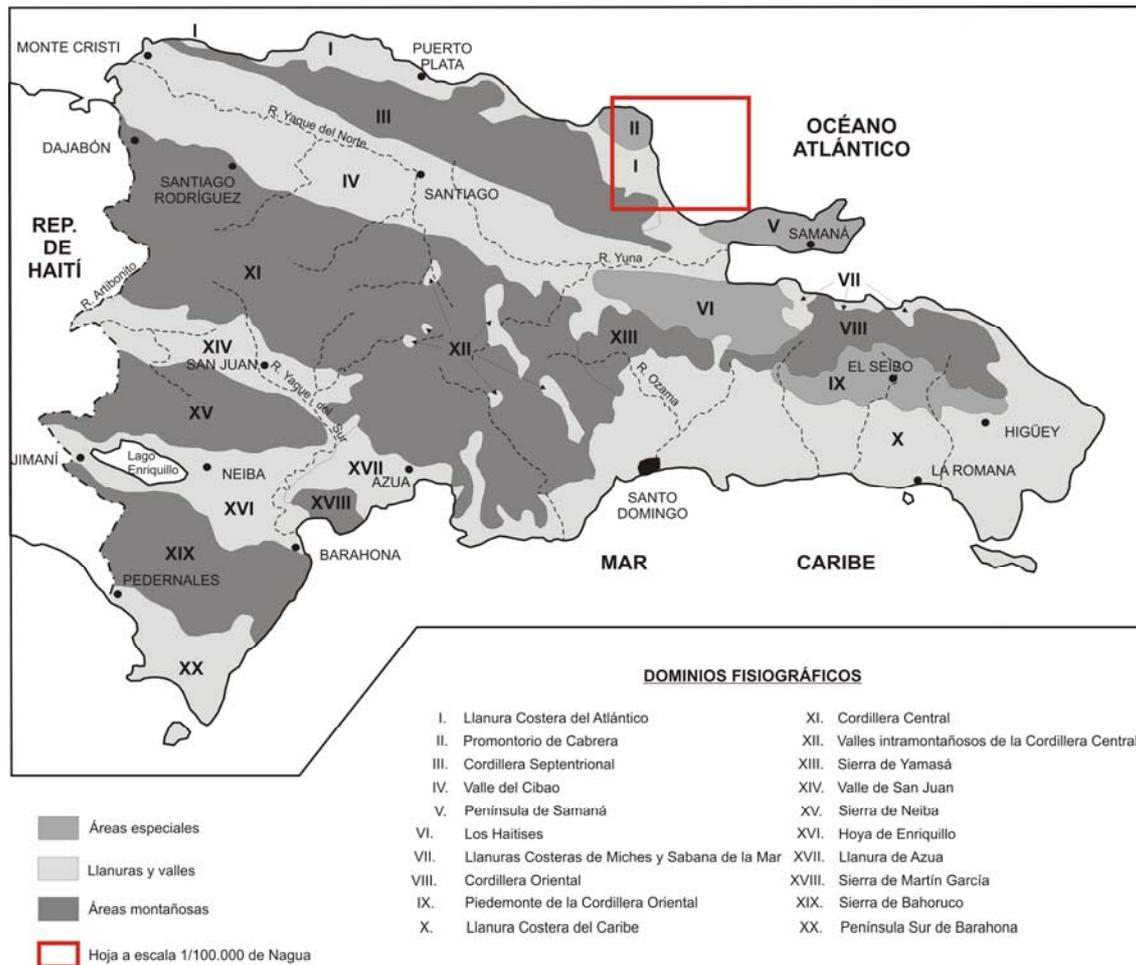


Fig.1.2. Dominios fisiográficos de la República Dominicana y situación de la Hoja a escala 1:100.000 de Nagua (De la Fuente, 1976, modificado)

- Cordillera Septentrional. Es una alineación montañosa de dirección ESE-ONO que se extiende a lo largo de unos 200 km, entre Monte Cristi y Nagua, discurriendo en paralelo al litoral atlántico. Incluye subdominios de características netamente contrastadas, alcanzando su máxima altitud en el pico Diego de Ocampo (1.249 m). Debido al destacado carácter tectónico de su límite meridional, constituido por la falla Septentrional, muestra una marcada asimetría, con una vertiente sur estrecha, pero de elevadas pendientes, y una vertiente norte muy extensa, que presenta una pendiente regional baja (Fig. 1.3).

La presente Hoja se sitúa en el extremo oriental de la cordillera, donde tan sólo afloran sus materiales más recientes, que a grandes rasgos se configuran como una suave cuesta degradada, inclinada hacia el NNE y trastocada por fallas. Su máxima elevación, 370 m, resulta bastante modesta en comparación con la

altitud alcanzada por la cordillera en otras zonas. Es un dominio muy incidido por una densa red de drenaje, debido al predominio de un sustrato margoso.

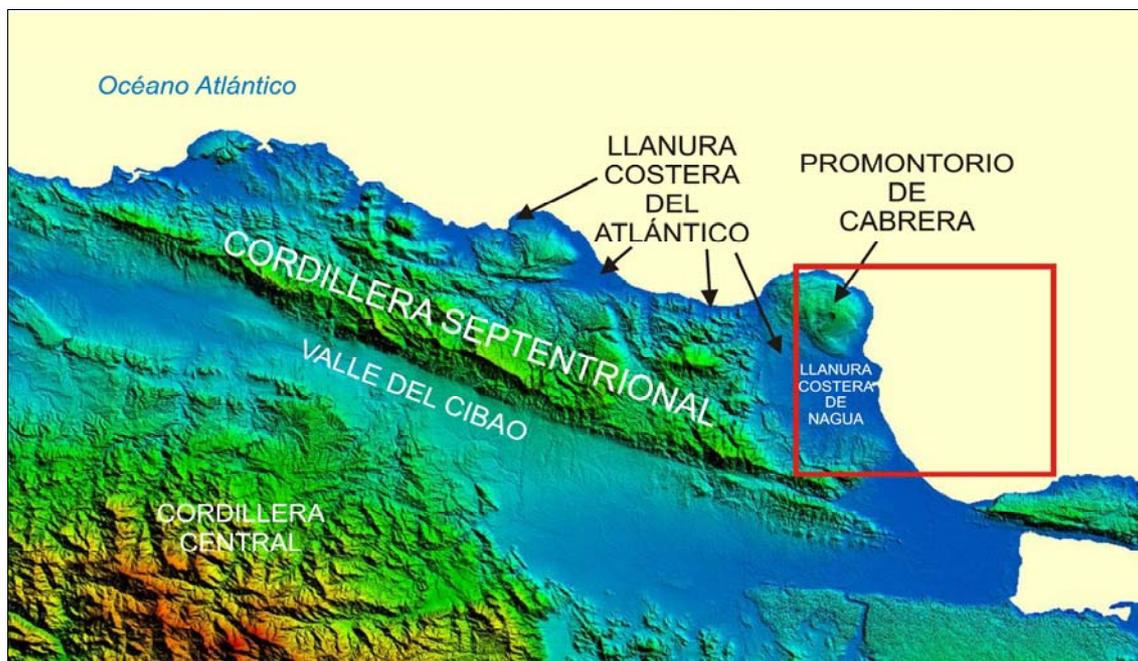


Fig.1.3. Modelo digital del terreno de la Cordillera Septentrional, el Promontorio de Cabrera y la Llanura Costera del Atlántico

- Promontorio de Cabrera. Se trata de una zona moderadamente elevada caracterizada por una peculiar fisonomía, a modo de domo escalonado que incluye las mayores elevaciones de la Hoja (445 m). Domina el litoral atlántico, al norte y al este, y la Llanura Costera del Atlántico, al sur y al oeste. Está constituida por materiales calcáreos neógenos y cuaternarios intensamente karstificados, lo que provoca que la red de drenaje muestre un desarrollo mínimo. Su litoral posee un marcado carácter acantilado.
- Llanura Costera del Atlántico. Es una extensa, estrecha e irregular franja del litoral atlántico, localizada al norte y al este de la Cordillera Septentrional, caracterizada por un variado conjunto de depósitos cuaternarios, entre los que predominan los de origen marino-litoral. Pertenece a ella la franja central de la Hoja, que se dispone como una espectacular planicie entre los relieves constituidos por los dos dominios anteriores, lo que ha aconsejado su individualización como Llanura Costera de Nagua (De la Fuente, 1976). Alberga el curso bajo de los principales ríos de la región y su litoral posee carácter de costa baja, con desarrollo de manglares, cordones litorales y playas.

1.3. Marco geológico

Tanto el Promontorio de Cabrera como la Llanura Costera de Nagua poseen la mayor parte de su superficie incluida en la presente Hoja, por lo que los principales rasgos geológicos de ambos dominios son evidentes en ella. Por el contrario, la representación de la Cordillera Septentrional en la Hoja es muy parcial, al aflorar en ella sus materiales más recientes, pero no los mesozoicos y paleógenos, que son sus constituyentes principales y los determinantes de su estructura (Fig. 1.4).

La **Cordillera Septentrional** conforma junto con la Península de Samaná un dominio geológico bien diferenciado del resto de La Española, al concurrir en él procesos directamente relacionados con la evolución del límite entre las placas Caribeña y Norteamericana. El borde meridional de la cordillera está definido por la falla Septentrional, accidente geodinámico de primer orden que la pone en contacto con los depósitos cenozoicos de la Cuenca del Cibao.

Dentro de la cordillera se reconocen tres conjuntos de rocas de origen muy diferente:

- 1) Complejos de rocas metamórficas de alta presión, rocas ultrabásicas (generalmente asociadas a mélanges) y neises de diversa naturaleza, que forman parte del complejo colisional relacionado con la convergencia del arco volcánico caribeño y el continente americano; se reconocen principalmente en la parte norte del dominio y están representados por los complejos de Puerto Plata, Río San Juan y Samaná;
- 2) Pequeños afloramientos de rocas volcánicas y volcano-derivadas de edad cretácica a paleocena, que forman parte del edificio del arco isla de la República Dominicana; se reconocen en la parte meridional, siempre al sur de la falla del Camú y están representados por los complejos de El Cacheal, El Paradero y Pedro García;
- 3) Rocas cenozoicas, constituidas por potentes sucesiones sedimentarias, mayoritariamente de origen marino, que registran la historia geológica de la región desde la colisión del arco volcánico con el continente americano, hasta nuestros días; se disponen discordantemente sobre los complejos de basamento anteriormente mencionados, que ejercen un cierto control paleogeográfico sobre ellas hasta el Mioceno Medio, a partir del cual poseen unas características uniformes.

Buena parte de la estructuración previa al Mioceno Superior, en la que los complejos ígneo-metamórficos coinciden con estructuras anticlinoriales más o menos apretadas, entre las que se disponen potentes series turbidíticas paleógenas configurando sinclinatorios, queda fosilizada por los materiales margoso-calizos de las Fms. Villa Trina

y Los Haitises. Éstos se distribuyen ampliamente por la cordillera y constituyen los mejores indicadores de la deformación reciente, mostrando a grandes rasgos un basculamiento general hacia el norte debido a la componente de salto vertical de la falla Septentrional; en la mayor parte de los casos, el techo de dichas formaciones configura una gran cuesta, intensamente meteorizada y dislocada por fallas de entidad menor.

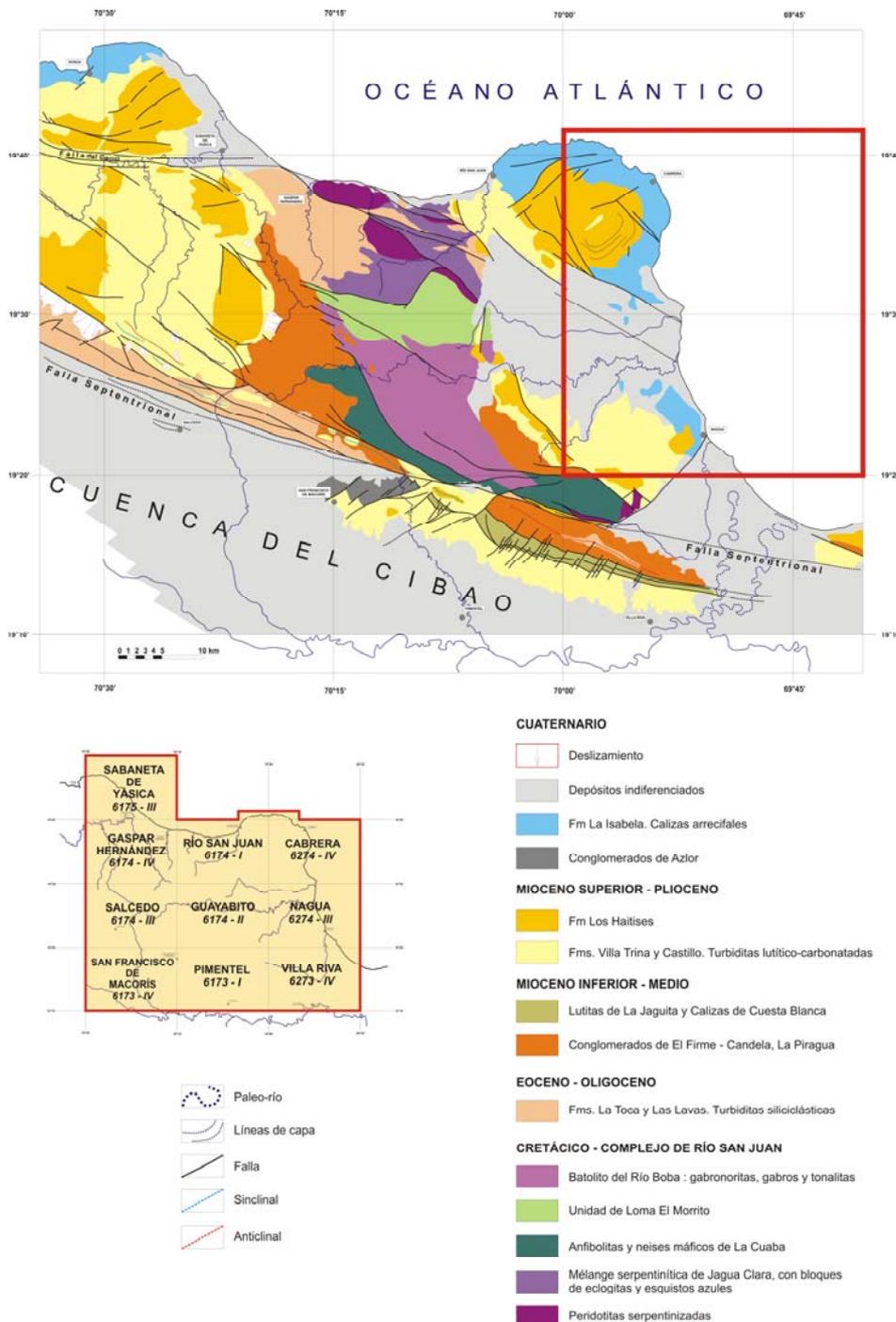


Fig.1.4. Esquema geológico del sector oriental de la Cordillera Septentrional

Pese a que a finales del Terciario la cordillera habría adquirido una buena parte de su estructuración actual, aún no habría alcanzado su fisonomía de gran cordillera, estando reducida a una serie de isleos que sobresaldrían en una extensa cuenca marina en la que se depositó la Fm Villa Trina; la progresiva emersión de la región, favorecida por la actividad de la falla Septentrional, provocó el paso de los ambientes de talud-cuenca a los de plataforma carbonatada de la Fm Los Haitises y finalmente, el retroceso de los complejos arrecifales de ésta hasta su posición actual.

Los sedimentos cuaternarios están ampliamente distribuidos por la cordillera, destacando los extensos depósitos fluviales asociados a los principales ríos, los gravitacionales ligados a pronunciados desniveles y los kársticos asociados a los restos de las plataformas carbonatadas plio-cuaternarias. Junto a ellos cabe destacar la relevancia que adquieren las argilizaciones por alteración del basamento ígneo-metamórfico.

A nivel geológico, el **Promontorio de Cabrera** puede considerarse parte de la Cordillera Septentrional (Fig. 1.5), reflejando como ningún otro dominio insular la progresiva elevación y emersión de la zona durante el Plioceno-Cuaternario. A diferencia de otros sectores, el ascenso “preferente” del centro del promontorio ha dado lugar a una secuencia de más de una decena de terrazas marinas concéntricas cuyos depósitos corresponden a las Fms. Los Haitises (las más elevadas) y La Isabela (las más bajas); debido a su composición calcárea, han adquirido una notable representación los depósitos de origen kárstico.

Por lo que respecta a la **Llanura Costera del Atlántico**, está constituida por un variado conjunto de sedimentos, siendo los más característicos los de carácter marino-litoral, de entre los que destacan cordones, construcciones biogénicas, marismas y áreas pantanosas. En el caso de la Llanura Costera de Nagua, poseen una destacada representación los depósitos de origen fluvial, destacando sus extensos abanicos aluviales, en los que se han encajado las amplias llanuras aluviales de los principales ríos.

1.4. Antecedentes

Al igual que en el resto del territorio dominicano, son prácticamente inexistentes las referencias bibliográficas de índole geomorfológica que afectan a la Hoja de Nagua,

correspondiendo en todos los casos a alusiones marginales dentro de trabajos geográficos o geológicos.

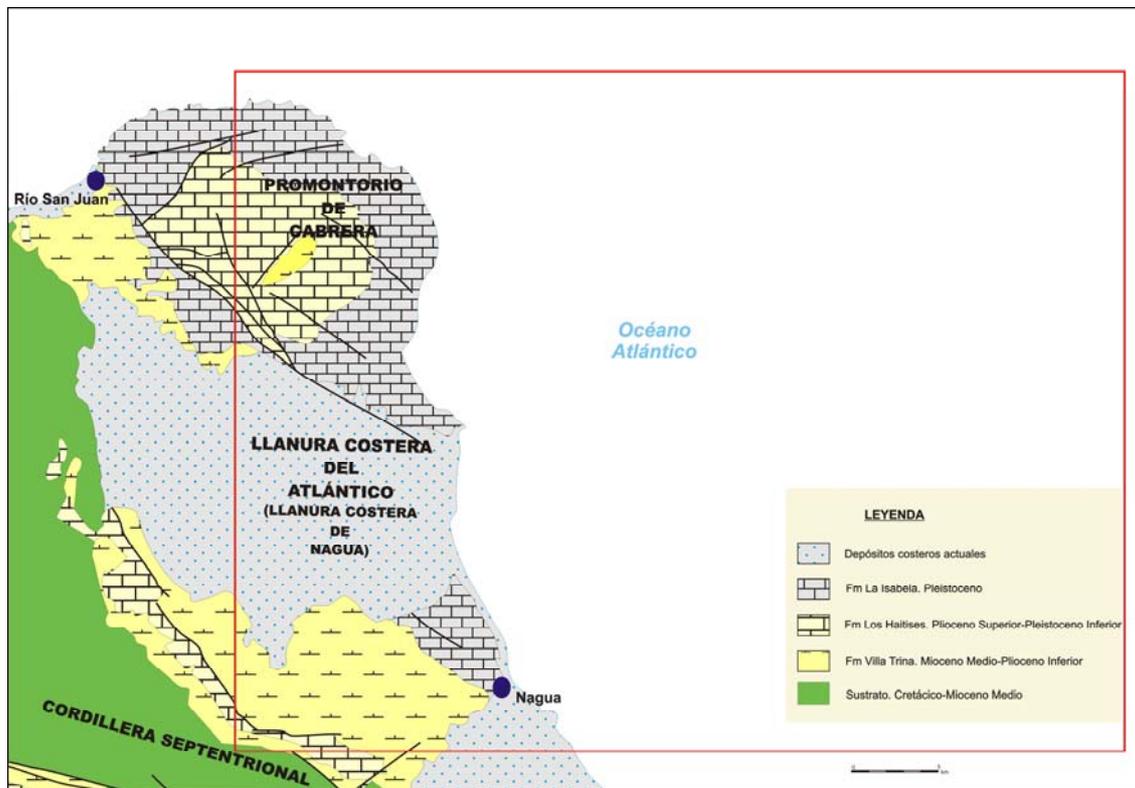


Fig.1.5. Esquema geológico de la Hoja a escala 1:100.000 de Nagua y su entorno

Entre los trabajos pioneros destaca el reconocimiento geológico de la República Dominicana de Vaughan *et al.* (1921). La ingente cantidad de documentación aportada por Obiols y Perdomo (1966) con motivo de la elaboración de un atlas para la planificación del desarrollo integral de la República Dominicana, supuso la creación de una cartografía temática completa; dentro de ella, Guerra Peña realizó una división en provincias fisiográficas, incluyéndose la Hoja en su Cordillera Septentrional.

Sin duda, el trabajo de mayor interés desde un punto de vista geomorfológico es el libro *Geografía Dominicana* (De la Fuente, 1976), que además de aportar una ingente cantidad de datos geográficos e ilustraciones, realiza numerosas consideraciones de orden geomorfológico. Ante la proliferación de nombres referidos a dominios geográficos observada en la bibliografía y las discrepancias existentes a la hora de fijar los límites de algunos de ellos, en el presente trabajo se han seguido los criterios expresados en dicho libro; además, estos criterios coinciden plenamente con los seguidos por la tradición popular, si bien discrepan en algunos casos de los utilizados en trabajos geológicos recientes.

Entre éstos, Lewis (1980) y Lewis y Draper (1990) consideran que la región se encuentra incluida en la zona Cordillera Septentrional-Península de Samaná. Desde un punto de vista geodinámico, la Hoja queda encuadrada en el terreno de Puerto Plata-Pedro García-Río San Juan de Mann *et al.* (1991), que incluye el sector de la Cordillera Septentrional situado al norte de la falla de Río Grande.

Para el estudio del sector septentrional de La Española, en el cual se encuadra la Hoja, resulta de notable interés para diversas disciplinas el volumen monográfico de Dolan y Mann (1998). En él, cabe destacar el trabajo de Dolan *et al.*, en el que se abordan aspectos relativos a la topografía y estructura de la cuenca marina de La Española situada al norte del litoral atlántico, realizándose además diversas aportaciones relativas al Promontorio de Cabrera. También es preciso señalar la contribución de Dolan y Wald relativa a la actividad sísmica reciente en la región.

Dentro de la escasez de trabajos puramente geomorfológicos en La Española, cabe señalar los diversos aspectos abordados en relación con el modelado kárstico de la región de Los Haitises por Díaz del Olmo y Cámara (2003) que guarda algunas similitudes con el de las zonas más elevadas del Promontorio de Cabrera.

Desde un punto de vista metodológico, cabe destacar las diversas Hojas a escala 1:100.000, tanto geomorfológicas como de procesos activos, realizadas durante los proyectos K y L del Programa SYSMIN (2004), si bien todas ellas se encuentran algo alejadas de la zona en cuestión.

Debido a la importancia de las formaciones arrecifales plio-cuaternarias en la Hoja, el trabajo de mayor interés para la elaboración de la misma ha sido el Informe elaborado por Braga (2010) dentro del presente proyecto, en el que además de tener en cuenta los datos aportados por los trabajos previos, aborda la estratigrafía, sedimentología y paleogeografía de las formaciones arrecifales del Neógeno y Cuaternario de la República Dominicana, incluyendo referencias concretas a la Hoja de Nagua.

2. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

La fisiografía de la Hoja a escala 1:100.000 de Nagua queda definida por la presencia de tres dominios morfoestructurales con personalidad propia, con el océano Atlántico ocupando buena parte de la misma (Fig. 2.1). Su perfil, en dirección N-S, es el de una planicie, correspondiente a la Llanura Costera de Nagua, flanqueada por sendas elevaciones: el Promontorio de Cabrera, al norte, y la Cordillera Septentrional, al sur, de la cual sólo se incluyen en la Hoja sus estribaciones orientales (Fig. 2.2).

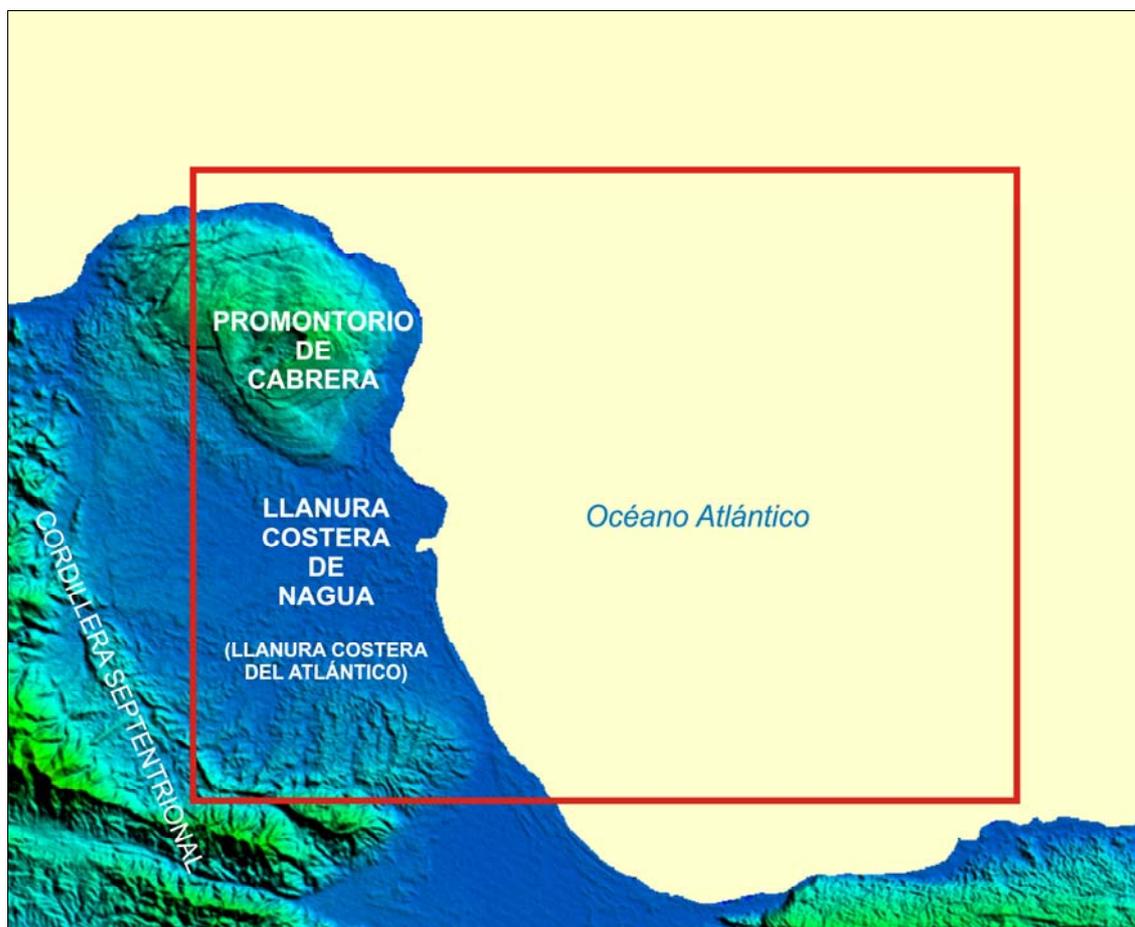


Fig. 2.1. Modelo digital del terreno de la Hoja a escala 1:100.000 de Nagua

La **Cordillera Septentrional** es una alineación montañosa alargada en dirección ESE-ONO entre Nagua y Monte Cristi. Posee una longitud de unos 200 km y una anchura cercana a 40 km, alcanzando su máxima altitud en el pico Diego de Ocampo (1.249 m). Al sur, la falla Septentrional la limita de forma neta con el valle del Cibao, en tanto que el litoral atlántico la baña por el norte, el este y el oeste (Fig. 1.4). Aunque desde algunas perspectivas tiene una línea de horizonte bastante uniforme, en detalle su

relieve presenta numerosas irregularidades, estando integrada por diversas alineaciones montañosas de orden menor; en concreto, su representación en la Hoja constituye la terminación suroriental del macizo de Río San Juan. En ella, debido a la abundancia de afloramientos de naturaleza margosa de la Fm Villa Trina, se ha desarrollado una densa red de drenaje cuya incisión ha dado lugar a una morfología poco definida a primera vista, aunque en detalle puede asimilarse a una suave cuesta intensamente degradada inclinada hacia el norte desde una altitud máxima de 370 m.

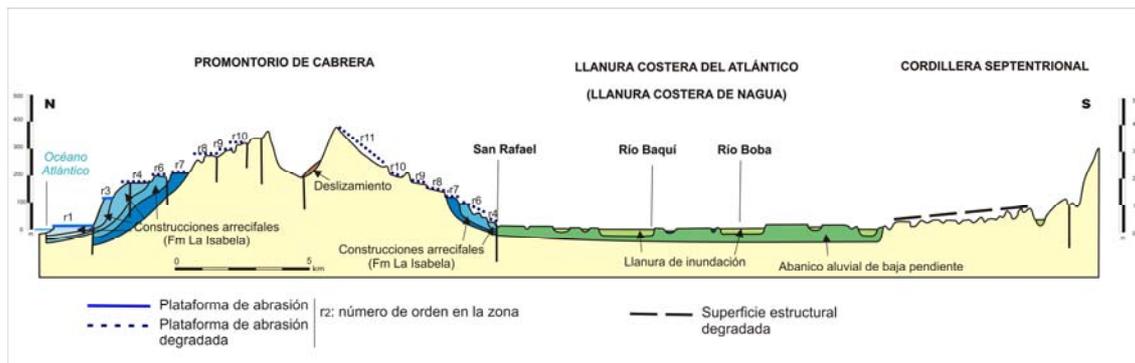


Fig. 2.2. Perfil esquemático de la Hoja a escala 1:100.000 de Nagua

La **Llanura Costera del Atlántico** es una franja discontinua e irregular que bordea la Cordillera Septentrional por el norte y el este. Además de un variado conjunto de depósitos litorales, alberga numerosas áreas pantanosas. En la Hoja, su anchura inusual le confiere una personalidad propia, permitiendo definir la Llanura Costera de Nagua, que individualiza al norte el Promontorio de Cabrera. Su aspecto es el de una notable planicie que desciende imperceptiblemente hacia el litoral desde cotas ligeramente superiores a 20 m, en la que se encuentran suavemente encajadas las extensas llanuras aluviales de los principales ríos de la zona; la mínima pendiente hace que abunden las zonas pantanosas y las lagunas. Su litoral posee carácter de costa baja, con extensos cordones litorales y manglares. Su paso al Promontorio de Cabrera es neto, mostrando un carácter más gradual en el caso de la Cordillera Septentrional.

Por lo que respecta al **Promontorio de Cabrera**, constituye un dominio muy peculiar, a modo de domo con su núcleo desmochado y profundamente incidido. Sus vertientes se caracterizan por la existencia de 11 superficies escalonadas correspondientes a plataformas de abrasión o aterrazamientos marinos; la envergadura de los escalonamientos es muy variable, sobrepasando en algunos casos los 50 m de desnivel. Alcanza 445 m en el vértice Siseviere, máxima elevación de la Hoja, que contrasta con los 150 m del fondo de la depresión de los Hoyos, que constituye el

núcleo del promontorio. Debido a la naturaleza calcárea de las plataformas marinas y a la karstificación desarrollada sobre ellas, es mínimo el número de arroyos existentes, resolviéndose el drenaje casi exclusivamente por infiltración. El litoral posee carácter acantilado, observándose una ligera disminución de su altitud desde el norte, donde sobrepasa 20 m, hacia el sureste, donde no llega a 10 m; tan sólo de forma esporádica intercala pequeñas playas o caletones.

Los principales rasgos geomorfológicos de la Hoja son: los aterrazamientos marinos del Promontorio de Cabrera y del noroeste de Nagua, derivados de la tendencia regresiva durante el Cuaternario; la degradación por meteorización química de los afloramientos calcáreos de las Fms. Los Haitises y La Isabela; el carácter estructural del límite entre el promontorio y la Llanura Costera de Nagua; la extensión de los depósitos fluviales de los ríos Boba, Nagua y Baquí y del arroyo Salado; la densa red de drenaje del sector meridional; el desarrollo de cordones litorales, que aíslan lagunas costeras cuya tendencia evolutiva las transforma en áreas pantanosas y finalmente, áreas colmatadas.

La elevada pluviometría de la región se traduce de forma diferente en cada dominio. Así, en el Promontorio de Cabrera son contados los arroyos existentes, que muestran una disposición concéntrica, excepto el arroyo Los Hoyos, que drena la depresión del mismo nombre. Por el contrario, en la Cordillera Septentrional son innumerables los arroyos existentes, en general estrechos y orientados según la directriz estructural NNE; en el sector meridional, su incisión ha dado lugar a cañones de más de 100 m de desnivel. Por lo que respecta a la Llanura Costera de Nagua, sus bajas pendientes provocan trayectorias muy sinuosas, con infinidad de cauces y meandros abandonados en el caso del río Boba, principal elemento de la red de drenaje.

La región posee un típico clima tropical (De la Fuente, 1976), suavizado por su carácter insular, con temperaturas medias de 25-26° C y precipitaciones medias superiores a 2.200 mm/año, con valores mínimos de 1.000 mm/año en Cabrera y máximos superiores a 4.000 mm/año en Nagua; es frecuente la llegada de tormentas tropicales y huracanes, especialmente concentrados entre septiembre y octubre, observándose variaciones estacionales ligeras, siendo algo más acusadas las diarias. En cuanto a la evapotranspiración potencial, sus valores varían entre 1.500 y 1.600 mm/año.

La vegetación en las zonas elevadas es de tipo muy húmedo subtropical, en tanto que en la llanura es húmedo subtropical, observándose en ella extensos cultivos cuyo riego se efectúa merced a la existencia de numerosos canales.

Su población está muy desigualmente repartida, concentrándose principalmente a lo largo de la carretera Nagua-Río San Juan, que discurre en paralelo a la costa; en ella se encuentran los principales núcleos de población, Cabrera y, especialmente, Nagua, siendo en ellas la actividad de servicios la principal ocupación de la población. Aunque la densidad de población del interior es sensiblemente inferior, dista mucho de estar deshabitado, especialmente en el ámbito de la Llanura Costera de Nagua, donde se registra una importante actividad agrícola.

La red de comunicaciones es buena en el litoral debido a la presencia de la carretera aludida, destacando junto a ella la carretera Nagua-San Francisco de Macorís. En el interior existe una densa red de pistas que permiten el acceso en vehículo a la mayor parte de la zona.

3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

En el presente capítulo se trata el relieve desde un punto de vista puramente estático, entendiendo por tal la explicación de la disposición actual de las distintas formas, pero buscando al mismo tiempo su origen (morfogénesis). Se procede a continuación a la descripción de las distintas formas diferenciadas en la Hoja, atendiendo a su geometría, tamaño y génesis; el depósito que acompaña a algunas de estas formas (formaciones superficiales), será el objeto del capítulo 4.

El análisis morfológico puede abordarse desde dos puntos de vista: morfoestructural, en el que se analiza el relieve como consecuencia del sustrato geológico, en función de su litología y su disposición estructural; y morfogenético, considerando las formas resultantes de la actuación de los procesos externos.

3.1. Estudio morfoestructural

El relieve de la zona está condicionado en gran medida por la naturaleza y la disposición de los materiales que la conforman. El techo de los materiales sedimentarios plio-pleistocenos constituyentes del Promontorio de Cabrera configuran una sucesión de superficies concéntricas escalonadas ligadas al retroceso marino, en tanto que los materiales de dicha edad aflorantes en la Cordillera Septentrional conforman una superficie estructural incidida por una eficiente erosión fluvial y desnivelada por una fracturación cuyos efectos son la creación y desnivelación de bloques,. En cuanto a la Llanura Costera de Nagua, el extenso y variado conjunto sedimentario aflorante oculta totalmente las estructuras del sustrato.

3.1.1. Formas estructurales

Predominan en las dos zonas montañosas, especialmente en la Cordillera Septentrional, donde la densa red de fracturación tiene una clara expresión morfológica en la distribución de los relieves y en la orientación de numerosos elementos de la red de drenaje. No obstante, la *falla con expresión morfológica* más relevante es la de San Rafael, que con orientación NO-SE limita el Promontorio de Cabrera, pudiendo destacarse también la falla de Nagua, que con directriz NE-SO limita la Cordillera Septentrional por el sur. En el ámbito de ésta se observan fallas de directriz NNE-SSO a favor de las cuales se encajan numerosos arroyos y también NO-

SE, transversales a la red de drenaje. Aunque menos abundantes, se reconocen fallas E-O, de entre las que destaca la de Loma Estrecha, que limita el resalte morfológico más destacado de la zona.

En la mitad meridional del Promontorio predominan las fallas de dirección NO-SE, de entre las que destacan las fallas de Jobo Dulce y del Diamante; ésta es en realidad un sistema de fallas que además de producir una fuerte distorsión en algunos niveles de aterramiento, determina la existencia de diversas formas actuales, como el entrante marino de la playa de El Diamante (Foto 3.1) o la laguna contigua a ella. En la mitad septentrional, la fracturación adquiere una clara orientación ENE-OSO, que se manifiesta en la dislocación de las terrazas marinas. También es preciso destacar el reflejo morfológico de las fallas de dirección NE-SO que afectan al sector central, pese a que parecen haber actuado en épocas pasadas, como se deduce del fuerte *basculamiento* de las terrazas más altas en el bloque suroriental, que no afecta a las más bajas y que eleva dichas terrazas en relación al bloque noroccidental, en contra de la pauta general. En este dominio, la ausencia de una cobertera vegetal densa permite la observación de *escarpes de falla*, frecuentemente *degradados*.



Foto 3.1. Fallas delimitando el caletón de la playa del Diamante

En la llanura, las fallas se encuentran bajo depósitos cuaternarios sin afectarlos. En algunos casos, ciertos rasgos morfológicos parecen estar condicionados por alguna de ellas, sin que se tenga la total certeza de su existencia, habiéndose representado en ambos casos como *fallas supuestas*.

Las distintas plataformas de abrasión del Promontorio de Cabrera muestran un *bascamiento* general hacia el SE, más evidente en el sector suroriental, menos trastocado por fallas, y especialmente llamativo en los niveles superiores. El sector de Caña Mala aparece como una zona hundida, sin que haya podido determinarse si se debe a fenómenos de naturaleza tectónica o a disoluciones del sustrato.

Las morfologías condicionadas por la distinta resistencia ofrecida por los materiales aflorantes a la erosión, o formas litoestructurales, se concentran en la cordillera, destacando los resaltes de *líneas de capa monoclinales*, acompañados en Loma Estrecha por *escarpes*; son debidos al contraste entre las margas de la Fm Villa Trina, fácilmente erosionables, y los resistentes niveles de calizas intercalados en ella o constituyentes de la Fm Los Haitises. Algunos niveles de aquélla constituyen una *superficie estructural degradada*, cuyos restos ejercen el papel de pequeñas superficies divisorias.

3.2. Estudio del modelado

La acción de los agentes externos sobre dominios tan contrastados como la Cordillera Septentrional, el Promontorio de Cabrera y la Llanura Costera de Nagua, tiene como resultado una expresión sensiblemente diferente. Así, el modelado de los dominios montañosos es el producto de una evolución presidida por los procesos sedimentarios y tectónicos acaecidos a lo largo del periodo Neógeno-Cuaternario, generadores de relieves positivos, sobre los que han actuado, con mayor o menor efectividad, diversos agentes morfogenéticos encaminados a la destrucción o al modelado de dichos relieves, destacando los de carácter marino-litoral, kárstico y fluvial.

Por lo que respecta a la llanura, son los procesos marino-litorales los condicionantes fundamentales de su aspecto actual en el litoral, pero no así en el interior, donde la dinámica fluvial ha borrado los vestigios de su pasado marino, sin olvidar la participación de los procesos lacustres-endorreicos y, en menor medida, kársticos.

Además de los anteriores, también han participado en mayor o menor medida en la construcción del relieve actual los procesos de ladera (gravitacionales) y poligénicos.

3.2.1. Formas gravitacionales

Se trata de morfologías muy escasas, especialmente en la Llanura Costera de Nagua, donde los desniveles son mínimos.

En el Promontorio de Cabrera el predominio de litologías calcáreas favorece la meteorización química, pero no las inestabilidades gravitacionales, que se reducen a un pequeño número de *deslizamientos* y a *caídas de bloques*. Los primeros se localizan en la depresión de Los Hoyos, habiendo sido provocados por las elevadas pendientes y la presencia de los materiales plásticos de la Fm Villa Trina. Se reconocen también diversas *cicatrices de despegue*, formas que también parecen haberse desarrollado en el pasado en relación con diversos paleoacantilados, como en el ámbito de Media Gorra y de La Vereda. También la morfología del entrante marino de la ensenada de Tetén sugiere la participación de fenómenos gravitacionales en su génesis. En cuanto a las caídas de bloques, se generan a favor de los desniveles de los acantilados (Foto 3.9), tanto actuales como fósiles.

También son formas escasamente representadas en el ámbito de la Cordillera Septentrional, debido a la confluencia de tres factores: la propia dinámica de retroceso de las vertientes, que provoca su permanente evolución; sus reducidas dimensiones, que con frecuencia han imposibilitado su representación cartográfica; y su rápido enmascaramiento por la cobertura vegetal y la alteración. Por ello, tan sólo se ha individualizado un pequeño *coluvión*, localizado en el paraje de La Colorada.

3.2.2. Formas fluviales y de escorrentía superficial

Su presencia es mínima en el Promontorio de Cabrera, pero no así en la Cordillera Septentrional, donde predominan las formas erosivas, adquiriendo su máxima expresión en la Llanura Costera de Nagua, constituida mayoritariamente por depósitos de origen fluvial.

Los *fondos de valle* son el principal testimonio de la actividad sedimentaria de la red fluvial actual. Se trata de formas estrechas coincidentes con el canal de estiaje, destacando entre ellos los de los ríos Boba y Baquí, junto a los que es preciso

destacar el río Nagua y el arroyo Salado. Todos ellos poseen una extensa *llanura de inundación* (Foto 3.2), acorde con su envergadura, que adquiere más de 5 km de anchura por solapamiento de la correspondiente a los ríos Boba y Baquí; destaca también la del río Riote, desarrollada en parte en el ámbito de la cordillera. Ninguno de los cursos señalados posee terrazas en la zona, formas que se han reconocido en el río Boba algunos kilómetros aguas arriba. Dentro de la llanura de inundación existen numerosos *cauces* y *meandros abandonados*, que denotan una continua y aleatoria deriva del cauce; su máxima expresión se produce la zona de solapamiento de las llanuras aluviales de los ríos Boba y Baquí.



Foto 3.2. Amplia llanura de inundación del río Boba

En cualquier caso, las formas más extensas son los *abanicos aluviales*, que constituyen la mayor parte de la superficie de la Llanura Costera de Nagua. Aunque también se reconocen al sur de la Cordillera Septentrional, su máxima expresión la alcanzan entre ésta y el Promontorio de Cabrera, donde constituyen una espectacular planicie (Foto 3.3) en la cual se encajan las restantes formas fluviales (Foto 3.4) y lacustre-endorreicas; su altitud disminuye desde cotas ligeramente superiores a 20 m en el sector occidental de la Hoja, hasta altitudes algo inferiores a 10 m en las

proximidades del litoral, indicando su procedencia occidental, concretamente del macizo de Río San Juan.



Foto 3.3. Espectacular planicie configurada por la superficie de los abanicos aluviales de la Llanura Costera de Nagua

En el sector nororiental del Promontorio aparecen diversos *conos de deyección*, relacionados con los escasos arroyos existentes y en su mayor parte depositados sobre la plataforma marina inferior (r_1); sus principales representantes, localizados en las proximidades de Cabrera, poseen una superficie de 1 km². En Abreu alcanzan una anchura de 2 km por coalescencia de tres conos.

Entre las formas erosivas se ha reconocido *incisión lineal*, desarrollada principalmente sobre las margas de la Fm Villa Trina. Aunque predomina en el sector meridional, donde entre los integrantes de la red fluvial se han formado *aristas*, su manifestación más llamativa es la del arroyo Los Hoyos, principal responsable del vaciado de la depresión del mismo nombre; la intensa erosión en este valle también ha propiciado la elaboración de un *área acarcavada*. El patrón erosivo es muy diferente en los materiales calcáreos de la Fm Los Haitises, donde la incisión ha esculpido *gargantas* y *desfiladeros*, como los de los arroyos Claro, Blanco y Los Hoyos.



Foto 3.4. Encajamiento de un cauce en los abanicos aluviales

Los escasos arroyos que transitan por el Promontorio de Cabrera se ven afectados por *saltos de agua*, como el del río Sigua (Foto 3.5), al alcanzar el borde de las plataformas de abrasión. También en este sector son frecuentes las *pérdidas de drenaje* debidas a la intensa karstificación de las Fms. La Isabela y Los Haitises. El catálogo de formas erosivas fluviales se completa con la *erosión lateral del cauce* que afecta a los meandros de los principales ríos.

La litología y la estructura son los principales condicionantes de la geometría de la red de drenaje, por lo que ésta sigue pautas diferentes en los tres dominios de la zona. En el Promontorio de Cabrera se encuentra poco desarrollada, resolviéndose la escorrentía de forma subterránea principalmente; en cualquier caso, los elementos existentes siguen un patrón radial, mostrando en general un carácter consecuente al discurrir a favor de la máxima pendiente regional. En la Llanura Costera de Nagua, la red fluvial posee geometría dendrítica y carácter consecuente, descendiendo a favor de la superficie de los abanicos aluviales en los que se encuentra encajada. La estructura vuelve a aparecer como un condicionante básico en el sector meridional, donde la red posee un patrón dendrítico, discurriendo hacia el norte y noreste, siguiendo el buzamiento del flanco septentrional de la Cordillera Septentrional.

Como principales factores condicionantes de la futura evolución de la red deben tenerse en cuenta: la influencia de la actividad de la falla Septentrional, elevando la Cordillera y con ello incrementando el régimen energético de los cursos fluviales del

sector meridional de la Hoja; las modificaciones eustáticas del nivel de base; el retroceso de las vertientes; la erosión remontante y las eventuales capturas derivadas de ella; las modificaciones del cauce activo en las llanuras aluviales de la llanura costera; y la progresión de la disolución kárstica en el promontorio, teniendo en cuenta que una vez alcanzado el sustrato margoso tiende a desarrollarse nuevos elementos de la red de drenaje.



Foto 3.5. Salto de agua del río Sigua

3.2.3. Formas lacustres y endorreicas

Se trata de lagunas y áreas pantanosas, muy abundantes en la Llanura Costera de Nagua. Las *áreas pantanosas* o ciénagas se han desarrollado en la franja litoral y en las principales llanuras aluviales, favorecidas por su baja pendiente y su mínimo potencial erosivo; cabe señalar por su extensión la situada al sur de Los Higos, que alcanza 4 km de eje mayor.

Las *lagunas* tienen una representación mayor, pues también poseen algunos pequeños ejemplares en el Promontorio de Cabrera. Muestran carácter *permanente* o *estacional* según los casos y dimensiones muy variables, siendo la más extensa la Gran Laguna (Foto 3.6), en el ámbito litoral, con más de 1 km de eje mayor; su orla pantanosa es el resultado de una tendencia a la colmatación o desecación. Son muy

abundantes en las llanuras de inundación, con frecuencia asociadas a áreas pantanosas. Por su notable densidad llama la atención la acumulación de lagunas, lagunillas y charcas del sector de Cruce El Caño, en este caso aprovechando depresiones generadas por karstificación de la Fm La Isabela.



Foto 3.6. Gran Laguna, en las inmediaciones del litoral

3.2.4. Formas marinas-litorales

Muestran una notable y variada representación en la Llanura Costera de Nagua, pero es sin duda al Promontorio de Cabrera al que han dotado de una fisonomía peculiar en el contexto insular, a modo de domo orlado por superficies escalonadas concéntricas. Por el contrario, este tipo de formas están prácticamente ausentes en la Cordillera Septentrional, pese a la incidencia de la dinámica marino-litoral en su historia reciente.

Una de las formas más características de la costa actual es el *cordón litoral* (Foto 3.7) que se extiende de forma prácticamente continua al sur de la playa de Boba, con un tramo ininterrumpido de más de 10 km al norte de Nagua; otro cordón, sensiblemente menor, aparece en la playa Arroyo Salado. Presentan su típico aspecto de sucesiones

de dunas, enmascaradas por la densidad de palmeras existente. En su frente se instalan *playas* arenosas, de entre las que destaca por sus dimensiones la de El Juncal. Los cordones poseen una anchura de varios cientos de metros, excepto al sur de Nagua, donde se ensanchan hasta superar 3 km, reconociéndose en la fotografía aérea sus *líneas de crecimiento*.



Foto 3.7. Aspecto parcial del extenso cordón litoral de Nagua, con desarrollo de playa en su frente

En el interior, concretamente en Baoba, se observa un ejemplar de *duna fósil* de 15 m de altura y algo más de 1 km de eje mayor, orientada en paralelo a la línea de costa. Más enigmáticos son los depósitos informes de arenas blancas dispersos, como los de Copeyito, cuya textura sugiere que se trata de antiguos depósitos costeros, probablemente *playas fósiles*, aunque su disposición actual sería más fácil de explicar con una génesis eólica.

Otro de los elementos característicos del litoral son las *marismas bajas* (Foto 3.8) o zonas afectadas por las mareas diarias, coincidentes con el *manglar*, su principal manifestación se encuentra en el ámbito de la playa Gran Laguna. Las formas

características de costas bajas se completan con las *bocas de albufera* del sector de Punta El Zanjón.

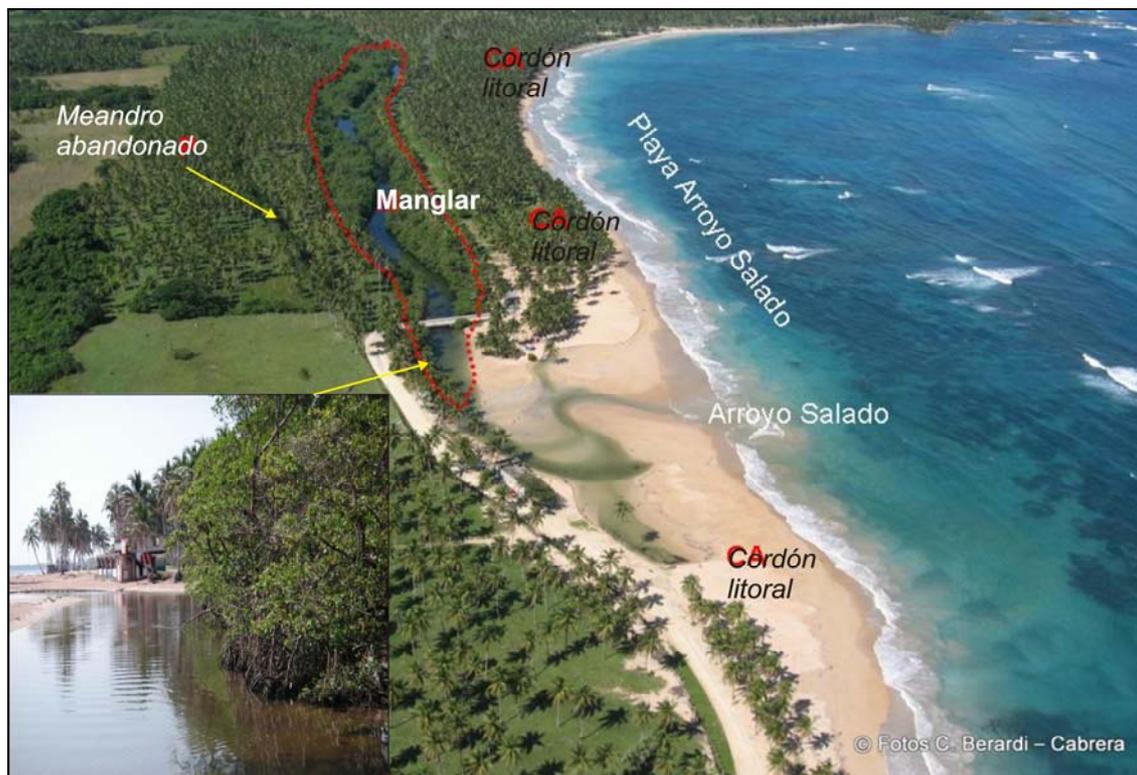


Foto 3.8. Manglar desarrollado en la desembocadura del arroyo Salado

A diferencia de la llanura costera, el litoral del promontorio se caracteriza por un *acantilado* prácticamente continuo (Foto 3.9), esporádicamente interrumpido por pequeñas playas, como la de El Diamante. El máximo desnivel se encuentra en la ensenada de Tetén, acercándose al centenar de metros, si bien predominan los acantilados de altura inferior a 25 m, observándose una ligera disminución de norte a sureste, desde los 20 m del acantilado de Punta Preciosa hasta los 10 m de Punta Limón.

En cualquier caso, el principal rasgo morfológico de la región son las *plataformas de abrasión* elevadas (terrazas marinas) que con disposición concéntrica y anchura kilométrica, escalonan el promontorio (Foto 3.10). Se han desarrollado tanto sobre las *construcciones biogénicas* de La Fm La Isabela como sobre las calizas de plataforma de la Fm Los Haitises (Fig. 3.1). Las plataformas están delimitadas por *acantilados fósiles*, más o menos degradados, que aparecen como escarpes verticalizados de orden decamétrico (Foto 3.11). Lógicamente, el grado de conservación de las plataformas y de los paleoacantilados disminuye con el tiempo, por lo que entre los

niveles más altos (y por tanto más antiguos), predominan las plataformas *degradadas* (Foto 3.12).



Foto 3.9. Acantilado en Cabo Francés Viejo. Nótese la caída de bloques al pie del acantilado



Foto 3.10. Plataforma de abrasión inferior en Cabo Francés Viejo

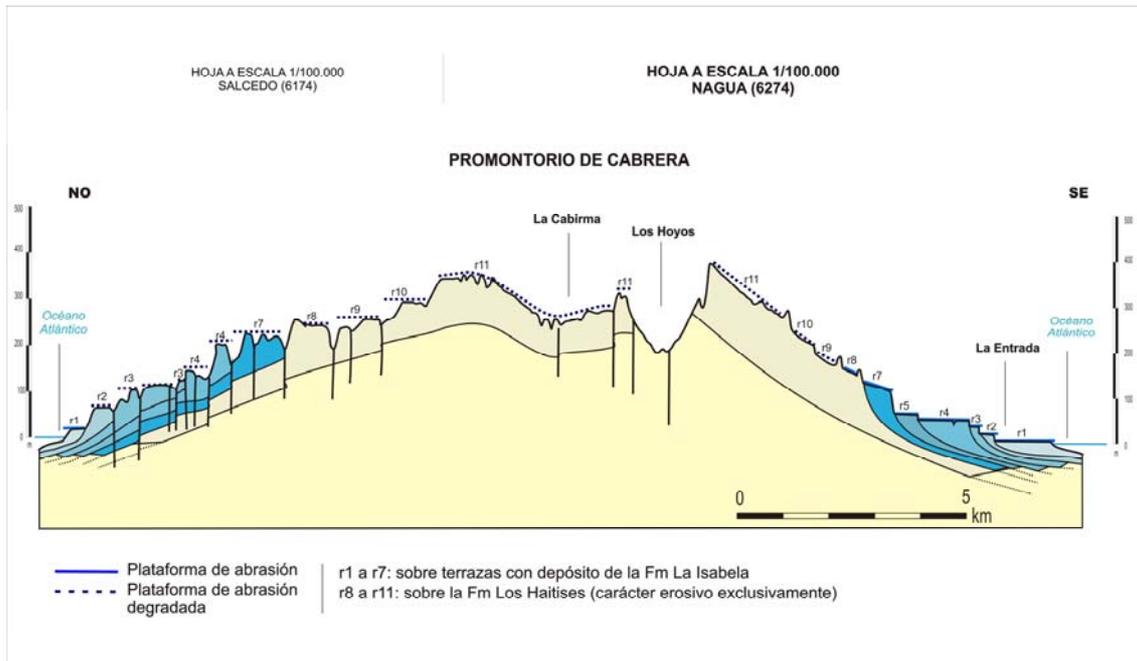


Fig. 3.1. Perfil del Promontorio de Cabrera, caracterizado por sus terrazas marinas y plataformas de abrasión



Foto 3.11. Acanthopora fósil de la segunda terraza marina, en las proximidades de Abreu



Foto 3.12. Plataformas de abrasión escalonadas y degradadas en el Promontorio de Cabrera, desde la playa Arroyo Salado

El sector suroriental es más propicio para la observación de los diversos aterrazamientos, ya que en el septentrional se encuentran muy trastocados debido a la densa red de fracturación desarrollada (Fig. 3.2). En aquél se observa una sucesión de 11 plataformas de abrasión o terrazas marinas escalonadas a cotas máximas aproximadas de +12 m, +25 m, +35 m, +80 m, +90 m, +100 m, +180 m, +220 m, +300 m, +340 m y +445 m (Fig. 3.3). A diferencia de las restantes, representadas por toda la zona, las terrazas segunda, tercera, quinta y sexta tienen carácter discontinuo.

Los cuatro niveles superiores (r_8-r_{11}) tienen carácter erosivo exclusivamente, habiéndose desarrollado sobre la Fm Los Haitises, en tanto que los siete inferiores (r_1-r_7), se han desarrollado sobre terrazas con depósito correspondientes a la Fm La Isabela. Debido a la uniformidad litológica y morfológica de los diferentes niveles, la individualización de ambas formaciones no es obvia, habiéndose establecido por criterios sedimentarios principalmente. Por una parte, las observaciones efectuadas en los niveles superiores han señalado una gran uniformidad de facies, en un contexto de de plataforma interna, en tanto que los niveles inferiores indican un dispositivo más variado en un ámbito de plataforma arrecifal.

También se han reconocido dos niveles de terrazas marinas al noroeste de Nagua, correlacionadas tentativamente con los dos niveles inferiores del Promontorio de

Cabrera. El más bajo alcanza una cota de +34 m, disminuyendo suavemente hacia el litoral atlántico, en tanto que el superior se aproxima a +100 m.

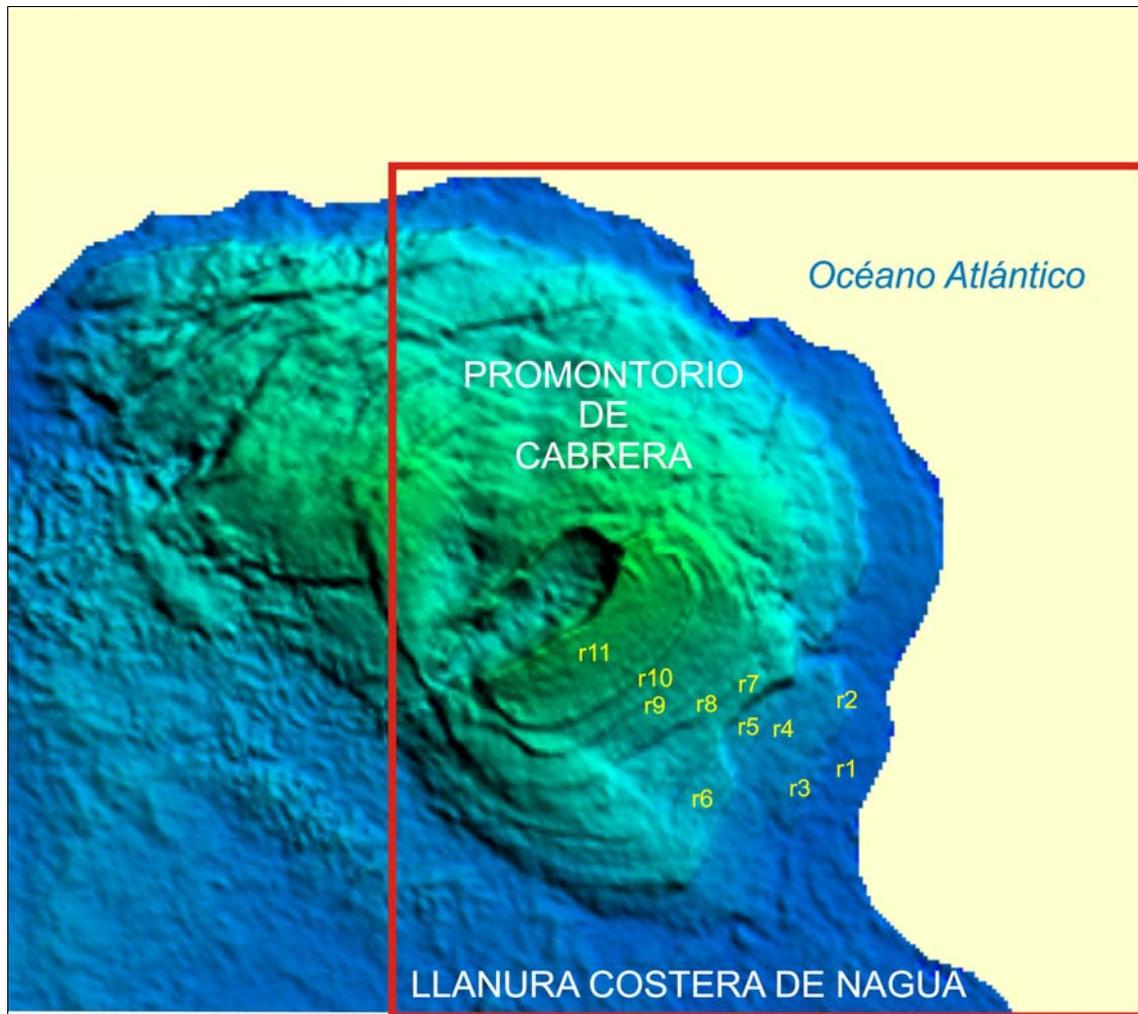


Fig. 3.2. Modelo digital del terreno del Promontorio de Cabrera

3.2.5. Formas originadas por meteorización química

Poseen una gran representación en los afloramientos calcáreos de las Fms. La Isabela y Los Haitises, en los que configuran varias *áreas con intensa karstificación*, intensidad que se hace máxima en las dos plataformas de abrasión superiores (r_{10} y r_{11}) del Promontorio de Cabrera. La plataforma superior aparece como un denso *campo de dolinas*, observándose *áreas con relieves residuales kársticos*, a modo de sucesión de mogotes o *hums* (Foto 3.13); en la zona de Jobo Claro, la eficacia de la karstificación ha producido un *aplanamiento kárstico*.

ESTIMACIONES DE EDADES Y TASAS DE ELEVACIÓN EN EL PROMONTORIO DE CABRERA (Basado en datos de Braga, 2010)									
FORMACIÓN	PLATAFORMA DE ABRASIÓN	UNIDAD CARTOGRÁFICA (TERRAZA MARINA)	SECTOR SEPTENTRIONAL		SECTOR SUDORIENTAL		DATACIÓN* (ka)	EDAD	
			COTA (m)	TASA DE ELEVACIÓN (mm/a)	COTA (m)	TASA DE ELEVACIÓN (1) (mm/a)			
LA ISABELA	r1	o	24	0,17	12	0,07	121+9	PLEISTOCENO SUPERIOR	126 ka
	r2	ñ	70	0,17	25	0,01	400	PLEISTOCENO MEDIO	
	r3	n	130	0,17	35	0,04	780		PLEISTOCENO INFERIOR
	r4	m	180	0,17	80	0,07	1100		
	r5	l	-	-	90	0,08	1200		
	r6	k	220	0,17	100	0,08	1325		
	r7	j	240	0,17	180	0,12	1450		
LOS HAITISES	r8	-	280	0,17	220	0,13	1700	PLIOCENO	1806 ka
	r9	-	320	0,17	300	0,15	1950		
	r10	-	360	0,17	340	0,16	2150		
	r11	-	402	0,17	445	0,19	2400		

121: datación absoluta corregida y correlacionada con la Llanura Costera del Caribe

0,17: tasa de elevación tomada como referencia para el sector septentrional

400: edad estimada en base a la relación entre cota y tasa de elevación, ajustada a la curva de Estadios Isotópicos (MIS)

Fig. 3.3. Estimación de la tasa de elevación y la edad de las construcciones arrecifales y plataformas de abrasión del Promontorio de Cabrera

Estas morfologías también se reconocen en algunos niveles más bajos, si bien las formas más extendidas son el *campo de lapices* desnudo que afecta a los afloramientos calcáreos y las *dolinas*, cuya confluencia ha generado *uvalas*. El espectro de formas kársticas se completa por la presencia de cuevas, cuyas dimensiones no han aconsejado su individualización cartográfica.

3.2.6. Formas poligénicas

Pese a la evidente actividad poligénica desarrollada en el ámbito de la Cordillera Septentrional, sus formas están restringidas al Promontorio de Cabrera. Las más frecuentes, especialmente en los niveles de terrazas marinas superiores, son *crestas* paralelas a los límites de las terrazas, en algunos casos superiores a 8 km de longitud y a 20 m de altura. Aunque la localización de algunas de ellas sobre el talud del paleoacantilado sugiere su relación con armazones arrecifales, las facies observadas hacen descartar esta idea, pareciendo probable que su génesis sea debida a la acción

conjunta de varios factores, liderados por disoluciones preferentes de la masa calcárea.



Foto 3.13. Mogotes o *hums* en las plataformas de abrasión superiores, elaboradas en las calizas de la Fm Los Haitises

De modo testimonial, en la depresión de Los Hoyos se ha identificado un *cerro cónico* esculpido sobre materiales conglomeráticos de la Fm La Piragua, en respuesta a procesos de erosión selectivos.

4. FORMACIONES SUPERFICIALES

Se consideran como tales todas aquellas formas con depósito, consolidado o no, relacionadas con el modelado del relieve actual. Su principal característica es su cartografiabilidad, definiéndose por una serie de atributos como geometría, tamaño, génesis, litología, textura, potencia y cronología; los tres primeros han sido tratados en el estudio del modelado, abordándose a continuación los aspectos relacionados con litología, textura, potencia y cronología, si bien ésta tiene carácter tentativo en la mayor parte de los casos ante la precariedad de las dataciones existentes.

4.1. Formaciones gravitacionales

4.1.1. Bloques y lutitas. Deslizamiento (a). Holoceno

Sus únicos ejemplares se localizan en la depresión de Los Hoyos, habiéndose desarrollado a favor de las elevadas pendientes y la plasticidad de los materiales de la Fm Villa Trina. Están constituidos tanto por materiales lutíticos procedentes de dicha formación como por bloques calcáreos incorporados gravitacionalmente desde los escarpes de la Fm Los Haitises que coronan la depresión.

No ha podido observarse corte alguno de esta unidad, por lo que su espesor es desconocido, estimándose valores superiores a 20 m. Por su relación con el relieve actual se asignan al Holoceno.

4.1.2. Cantos, bloques y lutitas. Coluvión (b). Holoceno

La constante evolución de las vertientes hace que sean depósitos efímeros, habiéndose reconocido un solo ejemplar, concretamente en el paraje de La Colorada. Se trata de una asociación de cantos y bloques heterométricos en matriz lutítica. Los cantos poseen composición ígneo-metamórfica, en concordancia con su área fuente.

La ausencia de cortes impide su descripción detallada, así como la determinación de su espesor, que se estima en 2-3 m. El propio hecho de su conservación en una zona de rápida evolución del relieve sugiere su pertenencia al Holoceno.

4.2. Formaciones fluviales

4.2.1. Arcillas abigarradas, de predominio rojizo, con cantos. Abanicos aluviales (c). Pleistoceno Superior

Son el principal constituyente de la Llanura Costera de Nagua, configurando extensas planicies de tonalidades rojizas. En general, afloran con deficiente calidad, pudiendo constatarse únicamente la presencia de lutitas de tonos rojizos (Foto 4.1), aunque algunas barranqueras y pequeños cortes en el borde de los caminos permiten observar sus principales rasgos. Las arcillas están afectadas por edafizaciones que les confieren un aspecto abigarrado que recuerda al de las alteraciones del basamento del macizo de Río San Juan (Foto 4.2), señalando a éste como su área madre, suposición respaldada por el incremento altimétrico del techo de los abanicos hacia el oeste y por la presencia esporádica de pequeños niveles de cantos de orden centimétrico de composición ígneo-metamórfica. Su espesor total no ha sido constatado en punto alguno, pudiendo señalarse valores mínimos de 15 m.



Foto 4.1. Arcillas rojizas de abanico aluvial en Nagua



Foto 4.2. Aspecto de las arcillas de los abanicos aluviales, recordando a las alteraciones del sustrato macizo del macizo de Río San Juan

En cuanto a su edad, el hecho de que en Nagua se disponga sobre la Fm La Isabela, restringe su base al Pleistoceno Superior, edad asignada a la unidad debido al evidente grado de encajamiento que posee la red fluvial en ella.

4.2.2. Gravas, arenas y lutitas. Llanura de inundación (d). Holoceno

Poseen una notable representación, especialmente en el caso de los ríos Boba, Baquí y Nagua, en los que configuran bandas de anchura kilométrica constituidas por gravas polimícticas y arenas, con intercalación de niveles lutíticos, en las que se encajan sus fondos de valle. Entre las gravas predominan los componentes de origen ígneo-metamórfico, con diámetros de 10-20 cm, si bien algunos elementos pueden sobrepasar 1 m.

Durante las épocas de crecidas importantes, su aspecto varía drásticamente, quedando toda la llanura anegada y determinando la geometría del cauce, considerando como tal el conjunto de la llanura de inundación y el fondo de valle o

canal. Por el contrario, en las épocas de estiaje se observan barras de gravas de dimensiones decamétricas. Su espesor es difícil de determinar al no observarse el sustrato, pero debe sobrepasar 5 m en el caso de los ríos principales. Por su dinámica actual, se incluyen en el Holoceno.

4.2.3. Lutitas, gravas y arenas. Cauce o meandro abandonado (e). Holoceno

Se distribuyen por la llanura de inundación de los principales ríos, caracterizándose por su forma estrecha, alargada y curvada de longitud hectométrica a kilométrica. Su composición es muy similar a la de los fondos de valle y la llanura de inundación por la que circulaban, observándose una mayor proporción de finos. Su espesor se cifra en 4-6 m. El hecho de encajarse en las llanuras de inundación hace que se asignen al Holoceno.

4.2.4. Cantos y lutitas. Conos de deyección (f). Holoceno

No se ha observado corte alguno que permita establecer sus características composicionales. No obstante, el hecho de que se asocien a los escasos arroyos del sector septentrional del Promontorio de Cabrera y que éstos necesiten de un sustrato impermeable para circular, sugiere que deben estar constituidos por lutitas con cantos y bloques calcáreos. Alcanzan un espesor de 20 m en Abreu. Por su disposición sobre la plataforma marina inferior (r_1) y la conservación de su morfología, se asignan al Holoceno.

4.2.5. Gravas, arenas y lutitas. Fondo de valle (g). Holoceno

Los principales fondos de valle están constituidos por gravas y arenas de composición ígneo-metamórfica, al nutrirse de materiales de la Cordillera Septentrional; por el contrario, diversos cursos menores presentan un predominio lutítico al ubicarse sus cuencas en zonas de sustrato arcilloso o margoso, hecho especialmente frecuente en los cursos del sector meridional.

Las gravas contienen cantos redondeados de 10-20 cm de diámetro, sobrepasando 1 m en algunos clastos del río Boba. Aunque no existen cortes que permitan determinar su espesor, varía en función del curso en cuestión, pudiendo alcanzar 5 m. Por su actividad actual se asignan al Holoceno.

4.3. Formaciones lacustres-endorreicas

4.3.1. Lutitas. Área pantanosa (h). Holoceno

Son frecuentes en la llanura de inundación de los ríos Boba y Baquí, así como en la franja litoral. Se trata del depósito de áreas de drenaje deficiente, constituido por lutitas oscuras con un cierto contenido de materia vegetal. Su espesor no ha sido determinado, aunque debe acercarse a 2-3 m. Por su relación dinámica actual se enmarcan en el Holoceno.

4.3.2. Lutitas. Laguna (i). Holoceno

Aunque se encuentran diseminadas por toda la zona, sus elementos más relevantes se encuentran en la Llanura Costera de Nagua, donde corresponden en unos casos a relictos de lagunas costeras tendentes a la colmatación-deseccación y, en otros, al encharcamiento de depresiones debidas a hundimientos por disolución del sustrato o al de segmentos de la red de drenaje abandonados y difícilmente reconocibles hoy día. Se trata de un depósito integrado por lutitas oscuras, cuyo espesor no ha sido determinado, estimándose valores de 2-3 m. Se asignan al Holoceno por su carácter actual.

4.4. Formaciones marinas-litorales

4.4.1. Calizas arrecifales. Construcciones biogénicas (j, k, l, m, n, ñ, o). Pleistoceno

Se trata fundamentalmente de calizas correlacionables con los materiales similares que Marcano y Tavares (1982) definieron como Fm La Isabela en las proximidades de esta localidad. Constituyen las siete terrazas marinas escalonadas (t_1-t_7) entre la Fm Los Haitises y la línea de costa, en el Promontorio de Cabrera, así como las dos existentes entre la Fm Villa Trina y el litoral, al noroeste de Nagua. Su techo coincide con las siete plataformas de abrasión inferiores (r_1-r_7), siendo en el promontorio donde existen mejores condiciones para su estudio (Fig. 4.1), especialmente en su sector suroriental (Fig. 3.2); la mayor parte de las descripciones de estas formaciones se basan en los datos recogidos y las interpretaciones efectuadas por Braga (2010).

Las siete unidades de depósito se asocian con las siete plataformas de abrasión inferiores de la zona (r_1-r_7), que presentan una constitución litológica semejante,

habiéndose diferenciado básicamente por su disposición morfológica y sus consiguientes diferencias cronológicas. Son numerosos los puntos que permiten efectuar observaciones de calidad de las características de estas unidades, especialmente las diversas canteras y los acantilados existentes en la zona.

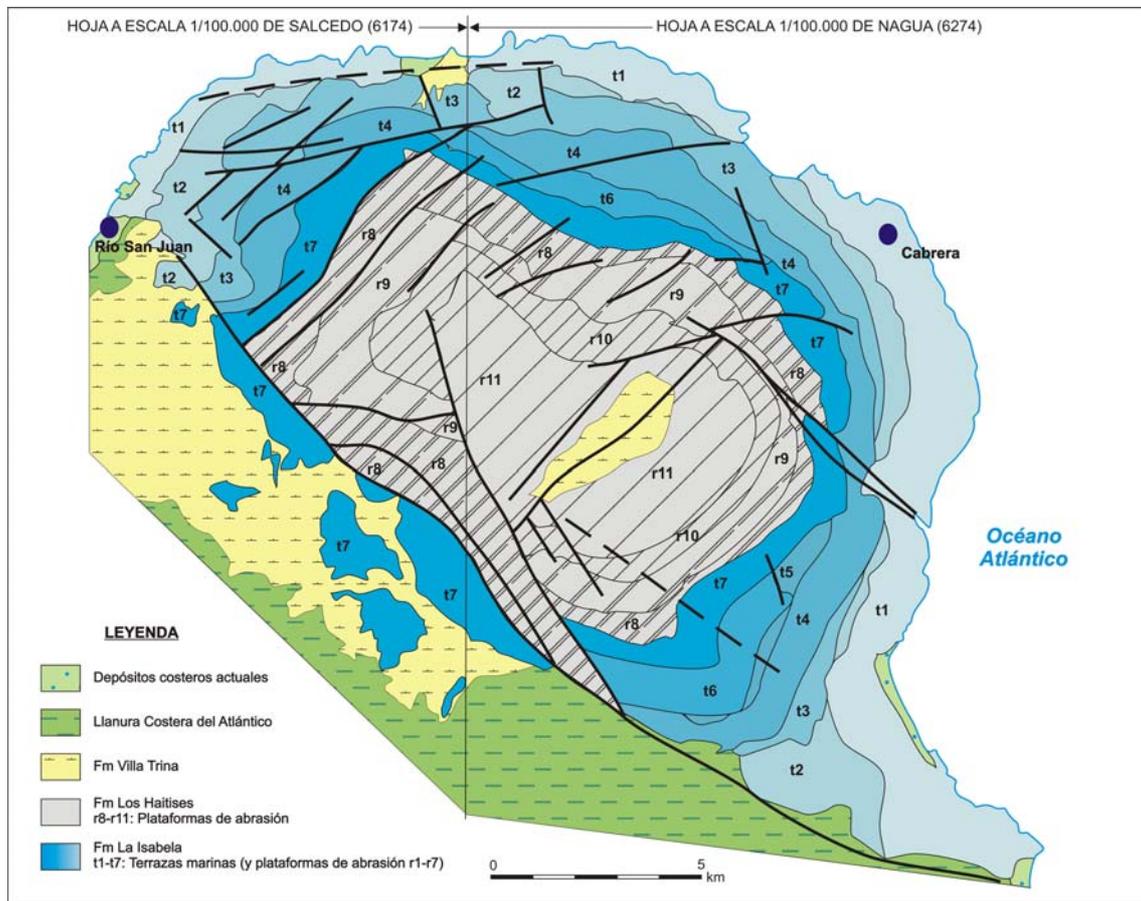


Fig. 4.1. Esquema de las terrazas marinas y plataformas de abrasión del Promontorio de Cabrera

Cada unidad responde a un dispositivo consistente en una barrera arrecifal que protegía *lagoones* de centenas de metros de anchura y que pasaban a mar abierto a través de un talud con una pendiente relativamente alta (Fig. 4.2). Su espesor varía, principalmente en secciones transversales, en consonancia con su morfología sedimentaria, estimándose en cualquier caso espesores de 20-40 m.

El armazón arrecifal está constituido por la superposición y acumulación de esqueletos de colonias de coral (Foto 4.3), en posición de vida o más o menos volcadas y con distintos grados de fragmentación, presentando con frecuencia costras de diverso grosor de algas rojas coralinales. Entre las colonias se observa un sedimento interno

de calcirrudita-calcarenita bioclástica, compuesta de fragmentos de coral, algas, moluscos, equinodermos y briozoos en una matriz micrítica. El sedimento interno no siempre rellena completamente los espacios entre los corales, lo que unido a los huecos producidos por la disolución de los esqueletos de coral, confiere una elevada macroporosidad a la formación.

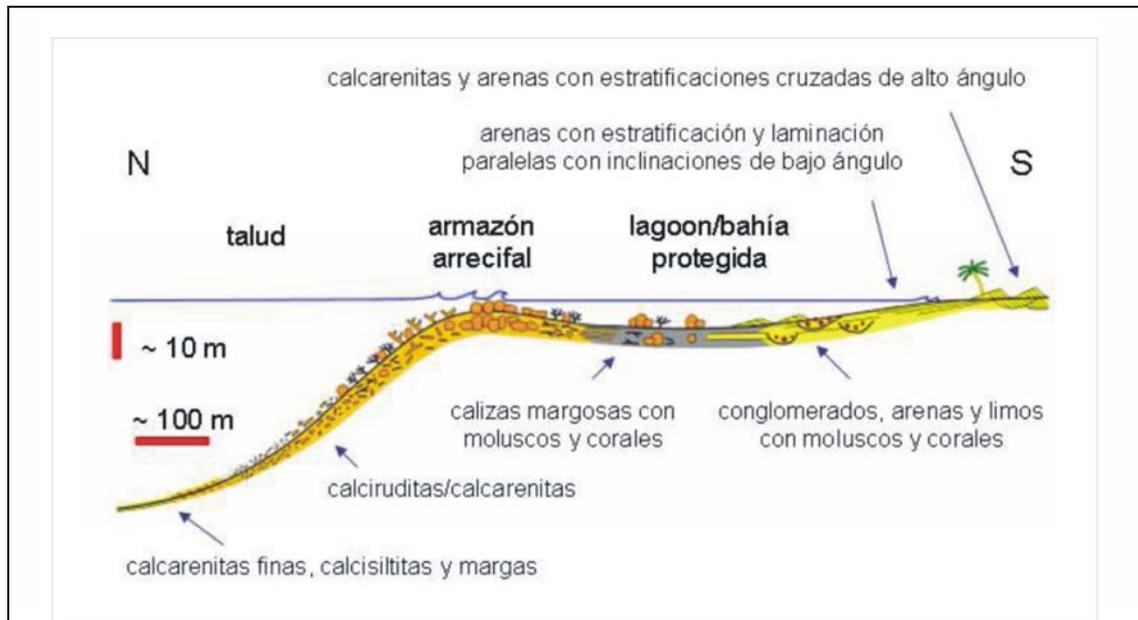


Fig. 4.2. Modelo sedimentario de la Fm La Isabela (Braga, 2010)

Donde la exposición lo permite, se observa una cierta zonación en la composición de los corales constructores principales, similar a la observada en otras áreas de la República Dominicana. En el núcleo de la construcción, el coral de ramas muy gruesas *Acropora palmata* aparece junto a colonias masivas de *Montastrea annularis*, *Siderastrea*, *Diploria* y *Porites*, además de algunas ramas de otras formas de *Acropora*. Hacia el mar se incrementan las proporciones de colonias de ramas finas de *A. prolifera* y *A. cervicornis*. En el núcleo la construcción es masiva, pero define una cierta estratificación grosera que buza ligeramente hacia el mar en las zonas más ricas de *Acropora*.

Las facies de acumulación, pendiente abajo y mar adentro, de los derrubios bioclásticos procedentes de la destrucción del arrecife y de la fragmentación de los esqueletos de los distintos organismos que en él vivieron, están representadas por brechas, calcirruditas y calcarenitas bioclásticas, pudiendo observarse en la cantera situada junto al camino de la ermita de la Virgen de la Vereda (Braga, 2010); a ellos se incorporan también los restos de los organismos que vivieron mar adentro sobre el

talud de derrubios del arrecife. Se aprecia una disminución del tamaño de grano con la distancia al arrecife y una mejor definición de las laminaciones y estratificaciones, observándose superficies erosivas y ligeras discordancias internas. Se trata de depósitos formados por fragmentos de coral, moluscos, algas coralinales y Halimeda, equinodermos, foraminíferos y briozoos, siendo frecuente encontrar colonias decimétricas masivas de coral, sobre todo de *Montastrea* y *Diploria*, volcadas y dispersas entre las calcirruditas; poseen contenidos variables de matriz micrítica. Estas facies aparecen en cliniformas, con un buzamiento de hasta 18-20°.



Foto 4.3. Acumulaciones de corales en la Fm La Isabela (Braga, 2010)

Las facies más distales de los taludes arrecifales, en las que se combina la llegada de los derrubios más finos del arrecife con sedimentos de mar abierto, mezclas de arcillas y limos y componentes planctónicos, están representadas por calcarenitas finas, calcisiltitas y margas. Estas facies, bien representadas en Cabo Francés Viejo (Foto 4.4), se ordenan mediante alternancias de capas centimétricas a decimétricas, agrupadas en paquetes métricos discordantes entre sí.

En cuanto a las facies del *lagoon*, están constituidas por calizas micríticas y calcarenitas bioclásticas (*wackestones* a *packstones*), con contenido margoso variable, agrupadas en capas centimétricas a decimétricas, bien estratificadas. Se observan moluscos y pequeños cabezos de coral dispersos, generalmente *Montastrea*

y *Diploria*. Contienen foraminíferos bentónicos y restos de equinodermos dispersos en la matriz, junto a los huecos de disolución de los esqueletos.



Foto 4.4. Facies más distales del talud arrecifal de la Fm La Isabela en Cabo Francés Viejo

Estas facies representan los restos conservados *in situ* de arrecifes de coral, muy semejantes, tanto en componentes como en la zonación de la composición, a los arrecifes actuales del Caribe.

Pese al abundante contenido faunístico que incluyen, no existen dataciones que permitan precisar su edad. El único dato disponible, correspondiente a una datación realizada en el laboratorio de radiometría de la "School of Earth Sciences" de la Universidad de Melbourne, sobre una muestra de *Acropora palmata* tomada en Cabo Francés Viejo, concretamente en la terraza inferior (unidad 0), situada a unos +20 m, indica una edad de 134.393 ± 1.060 a. Por motivos geoquímicos, parece probable que la edad obtenida sea algo más antigua que la real (Braga, 2010), por lo que cabe suponer que dicha terraza (la más joven de la zona), se formó en el MIS 5e. Esto sugiere su correlación con la terraza más joven de la Llanura Costera del Caribe, depositada igualmente en el MIS 5e y cuya edad ha sido precisada en 121 ± 9 ka (Schubert y Cowart, 1982).

Adoptando para la terraza inferior del Promontorio la edad señalada, resulta una tasa de elevación de 0,17 mm/a, que aplicada a las restantes terrazas de la Fm La Isabela permite estimar que su depósito se produjo durante el Pleistoceno Inferior-Superior (Fig. 3.3).

4.4.2. Arenas blancas. Depósitos litorales (p). Pleistoceno Superior

Se trata de una unidad cuyos deficientes afloramientos hacen que presente importantes incertidumbres sobre su origen. Consiste en pequeñas acumulaciones informes de arenas blancas (Foto 4.5), cuyo aspecto y textura evocan al de playas, estimándose espesores de orden decimétrico a métrico. Se asignan al Pleistoceno Superior por su disposición sobre los abanicos aluviales de la unidad (c) y por su elevado nivel de degradación.



Foto 4.5. Arenas blancas de origen incierto, esparcidas por la Llanura Costera de Nagua

4.4.3. Arenas. Dunas de cordón litoral (q). Pleistoceno Superior-Holoceno

Constituyen una pequeña elevación sobre la plataforma de abrasión de Pueblo Nuevo. A pesar de la ausencia de cortes que permitan la descripción detallada de la unidad, su constitución arenosa de grano fino, unida a su contexto, hacen que se interprete como una duna fósil. Su espesor máximo es de 15 m. Por su disposición sobre el nivel más reciente de la Fm La Isabela (unidad o), se asignan al Pleistoceno Superior-Holoceno.

4.4.4. Arenas. Cordón litoral (r). Holoceno

Constituyen una franja de anchura variable, paralela a la línea de costa, que guarda el típico aspecto de este tipo de formas, a modo de sucesión alargada de dunas de orden deca a hectométrico. Se trata de acumulaciones de arenas finas a medias de hasta 10 m de altura, aunque normalmente no superan los 6 m. En su frente se instalan extensas playas arenosas, pero la escala de trabajo tan sólo ha permitido su diferenciación como formas lineales. Por su dinámica actual se asignan al Holoceno.

4.4.5. Lutitas y arenas con vegetación abundante. Marisma baja (s). Holoceno

Su génesis se relaciona con los procesos mareales diarios, consistiendo en depósitos eminentemente lutíticos, con cierto contenido arenoso, y un notable contenido de materia orgánica como consecuencia de su colonización por el manglar. Se estiman espesores de 3-5 m para este tipo de depósitos, habiéndose incluido en el Holoceno por su actividad actual.

4.5. Formaciones originadas por meteorización química

4.5.1. Arcillas de descalcificación. Fondos de dolina o uvala (t). Pleistoceno-Holoceno

Se asocian a los afloramientos calizos de las Fms. Los Haitises y La Isabela, por lo que la mayoría de sus manifestaciones y las de mejor calidad de observación se localizan en el Promontorio de Cabrera. Corresponden a arcillas rojas de aspecto masivo (Foto 4.6), producto de la descalcificación de los materiales calcáreos por la acción de procesos kársticos. Su espesor varía considerablemente en función de la efectividad de los procesos de disolución, pudiendo superar 3 m.

Su edad está acotada por la del techo del nivel superior de la Fm Los Haitises, habiéndose enmarcado en el Pleistoceno-Holoceno.



Foto 4.6. Arcillas de descalcificación, producto de la actividad kárstica sobre los materiales calcáreos del Promontorio de Cabrera

5. EVOLUCIÓN E HISTORIA GEOMORFOLÓGICA

Aunque la morfología de la región es el resultado de los procesos acaecidos a lo largo de la historia de la Cordillera Septentrional, el diseño de su fisonomía actual empieza a perfilarse durante el Mioceno Medio, cuando el macizo de Río San Juan se habría alzado como un relieve positivo. Una importante transgresión acontecida en el Mioceno Superior, provocó en el territorio ocupado por la Hoja de Nagua, situado al este del macizo, la instalación de una cuenca marina relativamente profunda en la que se depositó la Fm Villa Trina, cuenca que evolucionó en el Plioceno a la extensa plataforma carbonatada en la que se depositó la Fm Los Haitises, observándose durante todo este lapso de tiempo una profundización de la cuenca hacia el noreste.

En las proximidades del límite Plioceno-Pleistoceno, el Promontorio de Cabrera comenzó a esbozarse siguiendo una evolución diferenciada del resto de la región. Es difícil establecer si durante dicho periodo se produjo la emersión del borde del macizo o se prolongó la sedimentación de la Fm Los Haitises, pero en el promontorio se constata la práctica continuidad del registro sedimentario hasta la actualidad, adquiriendo una morfoestructura determinada por la tendencia ascendente del promontorio y las oscilaciones eustáticas. La convergencia de ambos factores dio lugar al escalonamiento de sucesivas plataformas de abrasión y terrazas marinas con depósito en torno a un islote que aumentó progresivamente su extensión.

Durante el Pleistoceno Superior se produjo la emersión del sector meridional de la Hoja, con el consiguiente retroceso de la línea de costa y el comienzo del depósito de la Fm La Isabela en estrechas plataformas arrecifales. En un estadio posterior, aún en el Pleistoceno Superior, se produjo una modificación paleogeográfica sustancial en la zona, con la irrupción en la Llanura Costera de Nagua de extensos aportes de origen continental procedentes del macizo de Río San Juan; a falta de datos del subsuelo, no puede precisarse si previamente tuvo lugar el depósito del nivel inferior de la Fm La Isabela (posteriormente hundida debido a la acción de la falla de San Rafael), o si no se produjo dicho depósito al configurarse esa zona como una bahía influenciada por la desembocadura de un incipiente río Boba.

En el sector meridional de la Hoja, la red de drenaje ya habría esbozado su geometría actual, basada en cursos encajados según una tendencia consecuente general. En cualquier caso, la principal actividad fluvial ha tenido lugar durante el Holoceno, con el

encajamiento de los principales ríos de la zona en dichos abanicos, dando lugar a extensas llanuras aluviales en las que las bajas pendientes propiciaron las tendencias divagantes observadas. Una de las manifestaciones más evidentes de la actividad fluvial es la depresión de Los Hoyos, sometida a una intensa erosión una vez capturada por el arroyo del mismo nombre, erosión favorecida por la existencia de un sustrato margoso y el retroceso de las vertientes por inestabilidad gravitacional.

La evolución más reciente en la franja litoral de la Llanura Costera de Nagua ha estado caracterizada por el desarrollo de un extenso cordón, tan sólo interrumpido por la esporádica presencia de marismas bajas y desembocaduras de cursos fluviales. Las bajas pendientes de este dominio han favorecido el desarrollo de áreas pantanosas y lagunas, formas éstas que también se han generado a favor de depresiones de origen kárstico. En cualquier caso, la meteorización química sobre rocas calcáreas ha sido mucho más intensa en los niveles altos del promontorio.

Como principales factores condicionantes de la futura evolución de la región, deben tenerse en cuenta: la tendencia ascendente de la misma, con el consiguiente retroceso de la línea de costa y el progresivo descenso del nivel de base, factores que incrementarán el poder erosivo de los elementos de la red fluvial, con la consiguiente erosión remontante y las posibles capturas derivadas de ella; asimismo, deben considerarse la influencia de las fallas que desnivelan bloques en el Promontorio de Cabrera y en la Cordillera Septentrional, así como la actividad gravitacional en las vertientes; la tendencia a la colmatación de las lagunas y áreas pantanosas, y los retoques producidos por los fenómenos kársticos.

6. PROCESOS ACTIVOS SUSCEPTIBLES DE CONSTITUIR RIESGO GEOLÓGICO

Se denomina procesos activos a aquellos fenómenos de origen endógeno o exógeno, potencialmente funcionales sobre la superficie terrestre y cuyo principal interés es que bajo determinadas circunstancias son susceptibles de constituir riesgo geológico. Su cartografía supone, por tanto, un inventario de procesos geológicos funcionales, siendo preciso recordar el carácter generalmente imprevisible de buena parte de los fenómenos naturales, tanto en zonas muy activas como en zonas de baja actividad geodinámica.

Los datos reflejados en la cartografía son el resultado de un reconocimiento general efectuado mediante la interpretación de fotografías aéreas y la realización de recorridos de campo, por lo cual se trata de una estimación preliminar y orientativa de los principales procesos geodinámicos activos del territorio. Consiguientemente, la información aportada tanto en el mapa como en la presente memoria no exime de la necesidad legal de realizar los estudios pertinentes en cada futuro proyecto ni debe ser utilizada directamente para la valoración económica de terrenos o propiedades de cualquier clase.

Igualmente, ha de tenerse presente que a la escala de trabajo carecen de representación algunos fenómenos claramente perceptibles sobre el terreno. Sirva de ejemplo la nutrida red de arroyos y cañadas del sector meridional, afectadas por procesos erosivos y, al menos temporalmente, de inundación; los primeros son representables mediante el correspondiente símbolo de incisión lineal, pero la escala no permite una representación areal de los segundos.

Dentro de la Hoja de Nagua existe una gran variedad en cuanto a la naturaleza de los procesos activos, habiéndose reconocido diversos tipos de actividad: sísmica, tectónica, asociada a movimientos de laderas, por procesos de erosión, de inundación y de sedimentación, y asociada a litologías especiales.

6.1. Actividad sísmica

La sismicidad es uno de los procesos activos más relevantes de La Española, como consecuencia de su situación en un contexto geodinámico de límite entre dos placas: Norteamericana y del Caribe. Actualmente existe consenso en el reconocimiento de

las principales estructuras tectónicas de la isla y su relación con el desplazamiento relativo entre las placas litosféricas citadas. No obstante, aunque los rasgos generales son conocidos, el estudio de detalle de la actividad sísmica en la República Dominicana tropieza con una cierta escasez de datos. Los registros históricos e instrumentales son pocos y no pueden considerarse definitivos.

El registro histórico se inicia con la llegada de los españoles en el siglo XV, lo que limita su ámbito a los últimos 500 años, a diferencia de otras zonas del planeta donde el registro histórico abarca un milenio (Europa, Oriente Medio) o excepcionalmente varios milenios (China). Por lo que respecta al registro instrumental, también tiene graves inconvenientes, pues la Red Sísmica de la República Dominicana fue establecida durante los trabajos del Programa SYSMIN (Prointec, 1999) y su registro es, por tanto, manifiestamente incompleto.

Por ello, los catálogos existentes más antiguos provienen, en su mayor parte, de agencias situadas fuera del territorio dominicano, por lo que sólo se han detectado los eventos con magnitudes lo suficientemente grandes como para ser registradas por redes alejadas. La red sísmica de Puerto Rico ofrece una buena cobertura del territorio dominicano en cuanto a superficie, pero no así en cuanto a tiempo, ya que su registro se restringe al periodo posterior a 1985.

Para la elaboración del presente trabajo se ha accedido a las bases de datos de la Red Sísmica Nacional Dominicana (RSND), el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), la Red Sísmica de Puerto Rico (PRSN) y el Middle American Seismograph Consortium (MIDAS), además de las incluidas en el citado proyecto SYSMIN. El periodo cubierto ha sido 1505-2010.

La Hoja de Nagua pone de manifiesto la necesidad de abordar los estudios sísmicos en relación con áreas de un orden de magnitud superior, ya que en la Hoja la distribución de epicentros aparece como una nube de puntos que no sigue un patrón evidente. Sin embargo, en una representación de escala regional se observa la pertenencia de dichos epicentros a un dominio con importante actividad sísmica delimitado por la falla Septentrional, al sur, y el límite entre las placas Norteamericana y del Caribe, al norte (Fig. 6.1).

En cualquier caso, los seísmos registrados en la Hoja se localizan en el océano, siendo de profundidad muy variable, con eventos someros (< 12,1 km), intermedios

(24,4-55,0 km) y profundos (61,8-121,9 km), no correlacionándose con las estructuras cartografiadas. En cuanto a su magnitud, el mayor evento registrado alcanzó un valor de 6,31 (1980). Cabe destacar que la zona se vio afectada de forma directa por la sucesión de seísmos desencadenados entre 1946 y 1953 en el sector nororiental de La Española (Dolan y Wald, 1998), relacionándose con el proceso de subducción de la placa Norteamericana bajo la Caribeña (Fig. 6.2).

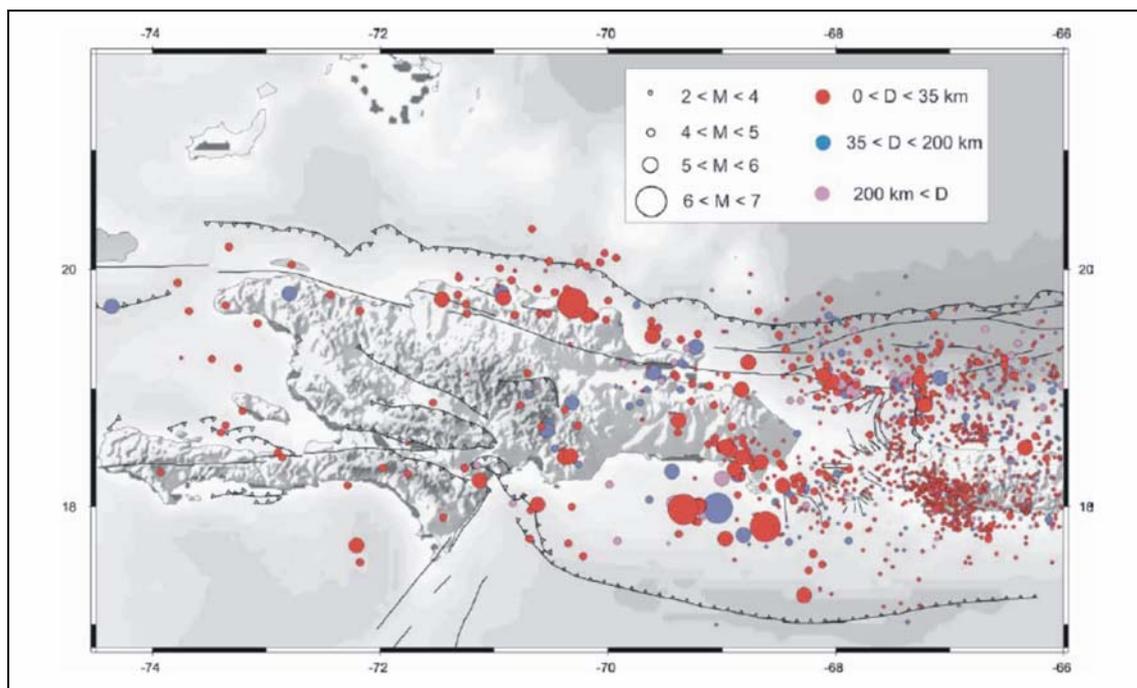


Fig. 6.1. Sismicidad instrumental de La Española (1972-2002). Catálogo NEIC-USGS (Calais, 2008)

6.1.1. Tsunamis

Los *tsunamis* son olas de grandes dimensiones u olas sísmicas marinas, causadas por un movimiento súbito a gran escala del fondo marino, debido mayoritariamente a terremotos y, en escasas ocasiones, a deslizamientos, erupciones volcánicas o explosiones de origen antrópico.

Los tsunamis difieren de otros peligros sísmicos en el hecho de que pueden causar daños serios a miles de kilómetros de las fallas detonantes. Una vez generados son prácticamente imperceptibles en el mar abierto, donde la altura de su superficie es inferior a un metro. Viajan a velocidades muy grandes, de hasta 900 km/h, y la distancia entre dos crestas de ola consecutivas puede alcanzar 500 km. A medida que las olas se acercan a aguas poco profundas, la velocidad del tsunami disminuye y su

energía se transforma en un aumento de la altura de la ola, que a veces supera 25 m; el intervalo de tiempo entre olas sucesivas permanece sin cambios, siendo generalmente de 20 a 40 minutos. Cuando los tsunamis se aproximan a la línea de costa, el mar suele retraerse a niveles inferiores a los de la marea baja, creciendo luego como una ola gigante.

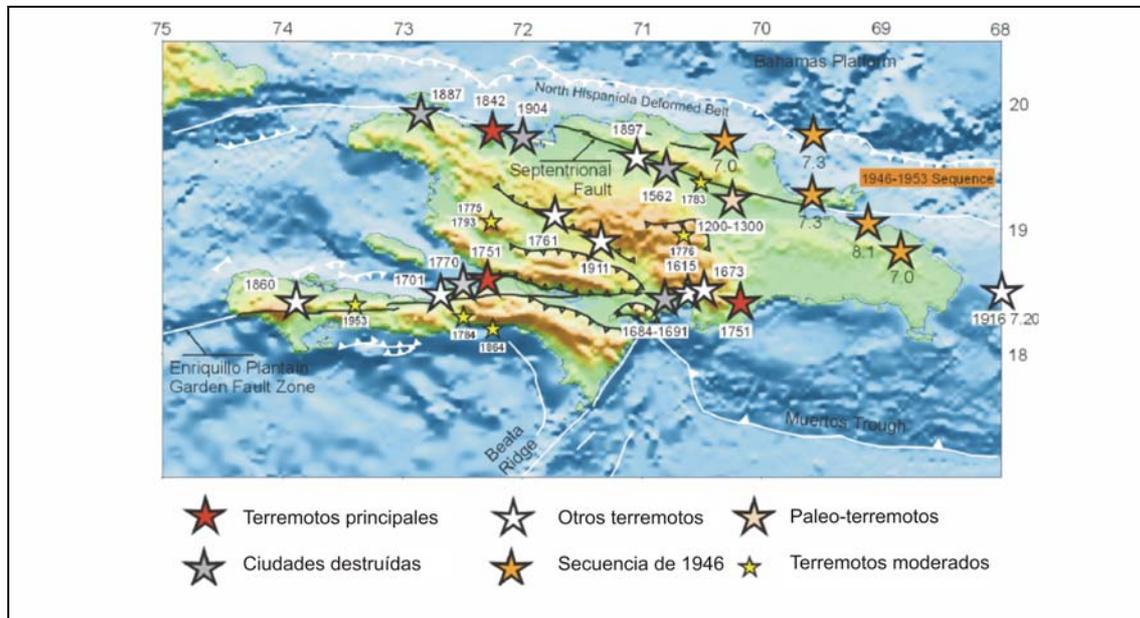


Fig. 6.2. Sismicidad histórica en La Española anterior a 1960 (Calais, 2008)

Los efectos de los tsunamis pueden ser condicionados por la configuración de la línea de costa local y del fondo marino. Ya que no existe una metodología precisa para definir estos efectos, es importante el examen del registro histórico para determinar si una sección particular del litoral ha sido afectada por tsunamis y qué elevación alcanzaron. Debe remarcarse que, debido a la fuerza de la ola, la inundación puede llegar a una elevación mayor que la de la cresta de la ola en la línea de costa.

Las costas haitianas y dominicanas han sido afectadas por tsunamis en diversas ocasiones, por lo que el ámbito del litoral de la Llanura Costera de Nagua debe considerarse susceptible de sufrir este tipo de fenómenos; su vulnerabilidad se extiende varios kilómetros hacia el interior en el caso de las llanuras aluviales de los ríos principales. Una evidencia histórica de este tipo de acontecimientos tuvo lugar con el seísmo del 4 de agosto de 1946, conocido popularmente como tsunami de Matancitas, en el que el litoral cercano a Nagua sufrió un importante número de bajas humanas, además de cuantiosos daños materiales.

6.2. Tectónica activa

En una región donde la actividad tectónica es evidente, como denuncia la sucesión de plataformas de abrasión del Promontorio de Cabrera, tan sólo se reconoce una pequeña cantidad de rasgos que denuncian este tipo de actividad. Los más destacados son las *fallas*, de orientación NE-SO, destacando la de San Rafael y las de la asociación que delimita el entrante marino de la playa del Diamante.

Pese a la morfoestructura concéntrica del promontorio, en detalle se configura como un *área elevada en movimientos de gran radio*, elevación que es máxima en el sector septentrional, lo que hace que las diversas terrazas muestren un *basculamiento* generalizado hacia el S-SE.

La actividad tectónica del promontorio hace que existan diversos rasgos relacionados con la red de drenaje, pese a su escaso desarrollo. Cabe señalar, la *pendiente anómala por exceso* ligada a los paleoacantilados, la *inflexión brusca* de algunos de sus elementos y la *captura* del antiguo arroyo Salado por parte del arroyo Caño Claro.

En relación con la tendencia ascendente de la región, las terrazas marinas del Promontorio de Cabrera ofrecen los mejores argumentos para el establecimiento de una tasa de elevación regional, pese a la precariedad de dataciones existente, si bien los valores obtenidos deben tomarse como una aproximación debido a las imprecisiones acumuladas en su cálculo. Asumiendo la correlación de la terraza inferior de Cabo Francés Viejo con la inferior de la Llanura Costera del Caribe (Braga, 2010) y estableciendo la edad de 121 ± 9 ka calculada por Schubert y Cowart (1982), resulta una tasa de elevación de 0,17 mm/a (Fig. 3.3).

En el sector suroriental, donde los niveles inferiores muestran una altitud menor, la tasa resultante es de 0,07 mm/a, que al ser extrapolada a las plataformas de abrasión superiores indica una edad Plioceno Inferior, edad incompatible con la atribuida a la Fm Villa Trina (Mioceno Superior-Plioceno Inferior); esto indica que la tasa promedio durante el Cuaternario debe ser un valor más elevado, siendo más verosímil la tasa calculada en el sector de Cabo Francés Viejo (0,17 mm/año).

En cualquier caso, estos datos suponen una aproximación, pero no se trata de cálculos determinantes debido a las incertidumbres en que se sustentan. Además, resulta bastante probable que la tasa de elevación haya cambiado con el tiempo; en

este sentido, tomando la cota máxima de +445 m alcanzada por la Fm Los Haitises en la Hoja y suponiendo que su ascenso se iniciase durante el Plioceno (3,5 Ma), la tasa sería de 0,13 mm/a; igualmente, tomando el final del Pleistoceno Inferior (781 ka) como el inicio de la elevación (el otro extremo en el impreciso intervalo del depósito de la formación), la tasa se incrementa hasta 0,57 mm/a, cifra considerablemente superior pero del orden de magnitud de las estimadas en el promontorio.

De todo ello se deduce que desde el Plioceno Superior, el Promontorio de Cabrera ha seguido una tendencia ascendente que ha fluctuado entre 0,01 y 0,57 mm/a, valores sensiblemente superiores a los calculados en la Llanura Costera del Caribe (Hoja Geomorfológica a escala 1:100.000 de Santo Domingo, 6271), similares a los de la región de Los Haitises (Hoja Geológica a escala 1:50.000 de Sabana de la Mar, 6373-III) e inferiores a los máximos de la Cordillera Septentrional (Hoja Geomorfológica a escala 1:100.000 de Salcedo, 6174).

6.3. Actividad asociada a movimientos de laderas

Se trata de una actividad restringida a los principales desniveles de la Cordillera Septentrional y del Promontorio de Cabrera. Su expresión más frecuente son las *caídas de bloques*, de envergadura variable, asociada a los acantilados (actuales y fósiles), y a los escarpes estructurales de la Fm Los Haitises.

El paraje de Los Hoyos es favorable para el desarrollo de *deslizamientos*, con sus *cicatrices* características, al converger diversos factores: elevadas pendientes, sustrato margoso, elevada pluviometría y actividad sísmica.

También se observa el desarrollo de *coluviones* en zonas montañosas, tratándose de formas efímeras debido a la continua dinámica de las vertientes.

6.4. Actividad asociada a procesos de erosión

Se concentra en el litoral del Promontorio de Cabrera y en la Cordillera Septentrional, destacando en los parajes de Los Hoyos y Loma Sonador, considerados como *áreas sometidas a una intensa erosión*. Su principal manifestación viene dada por la *incisión lineal* ligada a la actividad de la red de drenaje, siendo muy destacada la *erosión lateral del cauce* en el caso de los ríos principales, fenómeno que favorece las

frecuentes modificaciones de su curso principal. En Los Hoyos también se observa el desarrollo de *cárcavas*.

En relación con la dinámica litoral de carácter erosivo, se restringe a los *acantilados*, esculpidos en el nivel inferior de la Fm La Isabela, alcanzando su máxima expresión en el *retroceso de la línea de costa* de la ensenada de Tetén.

6.5. Actividad asociada a procesos de inundación y sedimentación

Es la actividad que se produce por una mayor variedad de procesos, además de ser la que tiene una mayor incidencia sobre la población. Su origen está relacionado con la actividad fluvial, el desarrollo lacustre, la dinámica litoral y, en general, con cualquier tipo de proceso generador de flujos acuosos o aportes sedimentarios susceptibles de acumularse en áreas deprimidas.

Los procesos de inundación y sedimentación actúan de forma prácticamente continua sobre los *fondos de valle* de los ríos y arroyos de la zona, a diferencia de las *llanuras de inundación* y los *cauces y meandros abandonados* en ellas, en los que las inundaciones se producen de forma estacional; por su envergadura es digna de destacar la llanura aluvial constituida por la confluencia de las correspondientes a los ríos Boba y Baquí. Los *abanicos aluviales* poseen una funcionalidad menos predecible, lo que dificulta su tratamiento, pudiendo dar lugar a violentos depósitos de masas con una participación acuosa variable.

El régimen pluviométrico de la región hace que las *lagunas* y *áreas pantanosas* aparezcan como áreas inundadas, si bien aquéllas pueden hacerlo de forma *intermitente*.

Asociadas con la dinámica litoral actual se encuentran las *marismas bajas* y las *bocas de albufera*, además de las *playas* y los *cordones litorales*, con sus características *líneas de crecimiento*. En relación con procesos de inundación en la franja litoral, no deben olvidarse los potenciales efectos que podría ocasionar la ocurrencia de un tsunami ni los más frecuentes debidos a la llegada de tormentas tropicales y huracanes; en este sentido, en la cartografía se ha representado el límite del *área especialmente sensible a la acción de huracanes* y que ocupa la franja litoral de la Llanura Costera de Nagua.

También son susceptibles de aparecer como áreas inundadas tras lluvias intensas las innumerables depresiones de origen kárstico de los afloramientos calcáreos de las Fms. Los Haitises y La Isabela, especialmente las depresiones revestidas por un importante depósito de arcillas de descalcificación.

6.6. Actividad asociada a litologías especiales

También se relaciona con los afloramientos de naturaleza calcárea, destacando las extensas *áreas con depresiones por disolución sin representación cartográfica individualizada* del Promontorio de Cabrera, desarrolladas en mayor medida en relación con la Fm Los Haitises. No obstante, también son abundantes las *depresiones por disolución* cuyas dimensiones han posibilitado su representación cartográfica individualizada. Evidenciando la actividad kárstica, aunque con efectos menos perceptibles, hay que señalar el extenso *lapiaz desnudo* desarrollado tanto en el promontorio como en los afloramientos de la Fm La Isabela localizados al noroeste de Nagua.

En función de la intensidad de los procesos de disolución, es preciso tener en cuenta los potenciales procesos de colapso que podrían generarse como consecuencia del desarrollo del endokarst, originando en su caso dolinas en superficie.

7. BIBLIOGRAFÍA

- BRAGA, J.C. (2010).** Informe sobre las Formaciones Arrecifales del Neógeno y Cuaternario de la República Dominicana. Proyecto de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN, Proyecto 1B. Dirección General de Minería, Santo Domingo, 73 pp.
- CALAIS, E. (2008).** Risque Sismique en Haïti: Fondements Scientifiques et Nature du Risque. Conferencia de Puerto Príncipe.
- DE LA FUENTE, S. (1976).** Geografía Dominicana. Ed. Colegial Quisqueyana S.A., Instituto Americano del Libro y Santiago de la Fuente sj; Santo Domingo, 272 pp.
- DE ZOETEN, R. (1988).** Structure and stratigraphy of the central Cordillera Septentrional, Dominican Republic. Tesis Doctoral, Universidad de Texas, Austin, 299 pp.
- DÍAZ DEL OLMO, F., CÁMARA, R. (2003).** Karst tropical de colinas, tipología y evolución en el plio-cuaternario en República Dominicana. XI Reunión nacional de Cuaternario. Oviedo, 123-128.
- DOLAN, J.F., MANN, P. (1998).** Active Strike-Slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone. Geological Society of America Special Paper, 326, 174 pp.
- DOLAN, J.F., MULLINS, H.T., WALD, D.J. (1998).** Active tectonics of the north-central Caribbean: Oblique collision, strain partitioning and opposing subducted slabs. En: DOLAN, J.F., MANN, P. (Eds.). Active Strike-Slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone. Geological Society of America Special Paper, 326, 1-61.
- DOLAN, J.F., WALD, D.J. (1998).** The 1943-1953 north-central Caribbean earthquakes: Active tectonic setting, seismic hazards and implications for Caribbean-North America plate motions. En: DOLAN, J.F., MANN, P. (Eds.). Active Strike-Slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone. Geological Society of America Special Paper, 326, 143-169.
- GUERRA PEÑA, F. (1966)** Las Regiones Fisiográficas de la Isla de Santo Domingo. Unión Geográfica Internacional. Conferencia Regional Latinoamericana, III.
- IGME (2004).** Mapa Geomorfológico y de Procesos activos susceptibles de constituir Riesgo geológico a escala 1:100.000. Guía para su elaboración. (Inédito).

- LEWIS, J.F. (1980).** Resume of the geology of Hispaniola. En: Guía de Campo de la 9th Conferencia Geológica del Caribe, Santo Domingo, República Dominicana, Ed. Amigo del Hogar, 5-31.
- LEWIS, J.F., DRAPER, G. (1990).** Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. En: DENG, G., CASE, J.E. (Eds.). The Geology of North America, Volume H, The Caribbean region. Geological Society of America, Colorado, 77-140.
- MANN, P., DRAPER, G., LEWIS, J.F. (1991).** An overview of the geologic and tectonic development of Hispaniola. En: MANN, P., DRAPER, G., LEWIS, J.F. (Eds.). Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola. Geological Society of America Special Paper, 262, 1-28.
- MARCANO, E., TAVARES, I. (1982).** Formación La Isabela, Pleistoceno temprano. Publicaciones especiales Museo Nacional de Historia Natural, 3, Santo Domingo, 30 pp.
- OBIOLS, A., PERDOMO, R. (1966).** Atlas de información básica existente y lineamientos para la planificación del Desarrollo integral de la RD. Guatemala.
- PROINTEC (1999).** Prevención de Riesgos geológicos (Riesgo sísmico). Programa SYSMIN, Proyecto D. Dirección General de Minería, Santo Domingo.
- SCHUBERT, C., COWART, J.B. (1982).** Terrazas marinas del pleistoceno a lo largo de la costa suroriental de la Rep. Dominicana: cronología preliminar. 9ª Conferencia Geológica del Caribe (Santo Domingo, 1980), 2, 681-688.
- VAUGHAN, T.W., COOKE, W., CONDIT, D.D., ROSS, C.P., WOODRING, W.P., CALKINS, F.C. (1921).** A Geological Reconaissance of the Dominican Republic. En: Editora de Santo Domingo. Colección de Cultura Dominicana de la Sociedad Dominicana de Bibliófilos, Santo Domingo, 18 (1983), 268 pp.